

Treball de Fi de Grau

Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials

Estudi de diferents opcions d'integració de generació fotovoltaica en edificis

MEMÒRIA

Autor: Romà Colom Pujol
Director: Oriol Gomis Bellmunt
Convocatòria: Febrer 2019



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



Resum

El propòsit d'aquest treball de fi de grau és estudiar i analitzar diferents solucions que proporcionin generació elèctrica fotovoltaica per alimentar el consum d'una explotació porcina. La metodologia utilitzada ha estat lineal, recollint en primera instància dades sobre la granja i realitzant els càlculs corresponents posteriorment. A l'hora de realitzar l'anàlisi, s'ha comparat la viabilitat de diferents solucions tenint en compte diversos factors, com el número de bateries o la instal·lació d'un grup electrogen. Finalment, s'ha conclòs que no és rendible l'aïllament d'una granja un cop ja posseeix connexió a la xarxa, que en cas de no haver començar l'activitat sí és rendible aïllar-la mitjançant un grup electrogen, mòduls fotovoltaics i bateries i; que, en cas de mantenir la connexió a la xarxa, qualsevol cas que contingui mòduls fotovoltaics retorna, a llarg termini, certa rendibilitat.

Sumari

SUMARI	4
1. PREFACI	9
1.1. Origen del projecte	9
1.2. Motivació	9
1.3. Requeriments previs	10
2. INTRODUCCIÓ	11
2.1. Objectius personals	11
2.2. Objectius tècnics	11
2.3. Abast del projecte	12
3. SITUACIÓ INICIAL	13
3.1. Opcions d'instal·lació	14
3.1.1. Bateries	14
3.1.2. Orientació automàtica (Tracking & Backtracking)	14
3.1.3. Grup electrogen	15
3.1.4. Connexió a la xarxa elèctrica	15
4. PROJECTE TÈCNIC	17
4.1. Memòria descriptiva	17
4.1.1. Equipament del sistema	17
4.1.1.1. Panell fotovoltaic	17
4.1.1.2. Suports panells fotovoltaics	19
4.1.1.3. Grup electrogen	19
4.1.1.4. Inversors de xarxa	22
4.1.1.5. Inversors híbrids carregadors	23
4.1.1.6. Bateries	25
4.1.1.7. Cablejat i connexions	26
4.1.1.8. Control i comunicacions	27
4.1.1.9. Elements de protecció i comandament	28
4.1.1.9.1..... Interruptor bypass	28
4.1.1.9.2..... Proteccions CC	28

4.1.1.9.3.....	Proteccions CA	29
4.1.1.9.4.....	Posada a terra.....	30
4.2.	Memòria de càlcul	31
4.2.1.	Justificació de càlculs	31
4.2.1.1.	Potència necessària de la instal·lació	31
4.2.1.2.	Configuració dels inversors de xarxa	34
4.2.1.3.	Dimensionat dels panells fotovoltaics	37
4.2.1.4.	Optimització de la inclinació dels panells	40
4.2.1.5.	Distribució de panells fotovoltaics	42
4.2.1.6.	Dimensionat de les bateries.....	46
4.2.1.7.	Seccions de cables i elements de seguretat.....	53
4.2.1.7.1	Seccions de cables de CC	58
4.2.1.7.2	Seccions de cables de CA	60
4.3.	Pressupost d'execució	74
4.3.1.	Manteniment de la instal·lació	75
4.3.1.1.	Manteniment tècnic.....	75
4.3.1.1.1	Manteniment anual.....	75
4.3.1.1.2	Reposició de components.....	76
4.3.1.2.	Manteniment econòmic.....	76
5.	VIABILITAT ECONÒMICA DEL PROJECTE.....	78
5.1.	Comparació casos d'aïllament de la xarxa	79
5.2.	Comparació casos connexió a xarxa	80
5.3.	Comparació millors opcions.....	81
CONCLUSIONS	85
AGRAÏMENTS	86
BIBLIOGRAFIA	87
Referències bibliogràfiques		87
Bibliografia complementària		88

1. Prefaci

1.1. Origen del projecte

L'elecció del tema del projecte no va ser senzilla. Per una banda, tenia clar que volia escollir un assumpte que fos d'una certa utilitat, m'aportés una satisfacció i motivació personal i contribuís extensament al meu aprenentatge. Per altra banda, el dubte sobre la qüestió a abordar també era gran. En conseqüència, vaig optar per introduir-me a la borsa de projectes i aplicar a alguns dels temes proposats.

Una d'aquestes propostes plantejava un estudi relacionat amb energia eòlica. Mitjançant aquesta em vaig posar en contacte amb l'Oriol Gomis i el departament d'Enginyeria Elèctrica de l'ETSEIB. A partir d'aquell moment, ell em va orientar i em va recomanar realitzar un estudi sobre energia fotovoltaica. Personalment, la temàtica em va cridar l'atenció i vaig decidir emprendre el treball.

1.2. Motivació

Per descriure el motiu d'elecció de la temàtica, és necessari endinsar-se en els valors que m'han estat transmesos i, per tant, voldria acabar emetent. Sempre he mostrat interès per aprendre, esforçant-me tant com podia en sentir-me útil, treballant intensament i intentant merèixer confiança. A més, també he procurat protegir la mare Terra, els seus habitants i el medi que ens ha donat la vida, intentant actuar de la forma més coherent i justificada possible.

Aquestes van ser les raons que em van fer decidir per convertir-me en enginyer. I, en concret, de dur a terme aquest projecte. Les energies renovables estan cridades a ser la gran esperança i alternativa enfront els combustibles fòssils, malgrat sempre hi haurà la necessitat d'energies més fiables, com les nuclears. Treballar-hi i entendre com funcionen és una bona oportunitat per indagar en la professió d'enginyeria de l'energia i descobrir si podria arribar a ser una alternativa de futur en la meua carrera professional. Espanya és un país amb un fort potencial en aquest tipus d'energies. Malgrat haver-hi certes restriccions de caire legal, que sembla que han millorat últimament en el cas de la fotovoltaica, la ubicació, meteorologia i extensió obren la possibilitat d'un nou mercat força ampli i atractiu.

Per altra banda, tant com si em convenç el món de l'energia elèctrica com si no, realitzar aquest treball també em serà útil per aprendre a redactar projectes d'enginyeria, amb tota la formalitat i precisió que això requereix.

1.3. Requeriments previs

El nivell d'aquest projecte no està pensat per introduir-se molt a fons en temes d'investigació puntera en aspectes relacionats en energia fotovoltaica.

No obstant, sí que són necessaris certs coneixements bàsics d'assignatures universitàries, com podrien ser electromagnetisme, electrotècnica, màquines elèctriques, informàtica o control automàtic, per exemple.

2. Introducció

El projecte consistirà en realitzar el projecte tècnic d'una instal·lació fotovoltaica assistida, aïllada o sense aïllar de la xarxa elèctrica.

Per fer-ho, s'agafarà com a referència una granja destinada a la producció porcina ubicada al municipi d'Almacelles, ja que un familiar proper n'és el propietari i hi haurà més facilitat per obtenir dades.

L'estructura que seguirà el treball serà la pròpia d'un projecte d'enginyeria, adaptant-se en certs aspectes a un projecte acadèmic. Així mateix, el treball constarà, inicialment, d'un estudi tècnic on analitzaré i explicaré la situació prèvia al projecte, i en el qual plantejaré les possibilitats d'execució i l'alternativa escollida. A continuació, descriuré el projecte tècnic, el qual inclourà la memòria descriptiva, la memòria de càlcul, els plànols, el pressupost d'execució, el plec de condicions, la legislació i el corresponent estudi de salut i seguretat. Posteriorment, analitzaré el projecte des del punt de vista de la viabilitat econòmica i mediambiental i, per últim, acabaré citant les conclusions a les quals hauré arribat després de realitzar el treball.

2.1. Objectius personals

- Introduir-se en el món de l'enginyeria elèctrica.
- Analitzar opcions, dades i variables lògica i eficaçment.
- Plantejar una bona solució.
- Aprendre de l'experiència i desenvolupar noves estratègies de pensament.
- Gaudir realitzant un projecte afí als valors personals.

2.2. Objectius tècnics

- Garantir el subministrament mínim de demanda elèctrica per a que l'explotació funcioni amb normalitat, tenint en compte qualsevol anomalia i/o augment sobtat de consum.
- Utilitzar una font d'energia renovable que permeti un desenvolupament sostenible i ajudi a pal·liar els efectes del canvi climàtic.

- Minimitzar la inversió econòmica i garantir que la inversió és rendible i té un bon marge de retorn.
- Produir mínimes molèsties possibles al propietari de l'explotació ramadera. Assegurar un manteniment mínim o innecessari i poca influència a l'activitat porcina durant el muntatge.

2.3. Abast del projecte

El projecte no pretén basar-se en la innovació i investigació que un departament d'enginyeria elèctrica precisa. No obstant, sí que pretén estudiar i analitzar les alternatives existents en el mercat, donant una bona solució al problema plantejat.

3. Situació inicial

El propòsit d'aquest treball és realitzar el projecte d'instal·lació elèctrica d'un habitatge destinat a l'explotació porcina de deslletament i engreix. La instal·lació està formada per 4 naus i ha de garantir el subministrament energètic intentant optimitzar els criteris mediambientals i econòmics.

Cal tenir en compte que aquesta infraestructura va canviar la seva funcionalitat fa aproximadament un any, passant de cicle tancat a deslletament i engreix. És a dir, en el passat es dedicava a cria, reproducció i creixement i, actualment, tan sols es dedica a creixement.

Les dades administratives i de situació de la granja es mostren en la Taula 1 [1]:

Taula 1.- Dades administratives i de situació de la granja.

Latitud	41°45'24,8"N
Longitud	0°25'30,6"E
Alçada	211 m
Fus UTM	31
Província	Lleida (25)
Municipi	Almacelles (19)
Polígon	5
Parcel·la	343,41
Referència cadastral	25019A005003430000ZZ, 25019A005000410000ZF

La ubicació exacta de l'explotació ramadera es mostra en el plànol de situació i emplaçament. Per altra banda, també és necessari destacar que la granja ja disposa d'una instal·lació de subministrament elèctric a la xarxa, amb una estació transformadora situada a 500 metres.

Les infraestructures de l'explotació disposen d'avançats sistemes d'automatització, diversos

mecanismes de refrigeració, un sistema de bombejament d'aigua, així com varies instal·lacions d'il·luminació. D'aquesta manera, la granja on es vol realitzar el projecte necessita que la instal·lació de subministrament elèctric garanteixi una potència elèctrica d'aproximadament uns 22 kVA en els moments de més demanda.

L'explotació es veu fortament influenciada pel clima i meteorologia de la comarca del Segrià, arribant a adquirir els -10°C durant les llargues i gèlides nits d'hivern i els 40°C durant els calorosos dies d'estiu. És per aquest motiu que es considera aquests dos moments com els punts més crítics pel que fa al consum elèctric. Com que la instal·lació de calefacció està basada en calderes de gas i biomassa i no computa en el càlcul d'energia elèctrica consumida, s'arriba a la conclusió que el màxim s'aconseguirà durant els mesos d'estiu, quan els sistemes de ventilació actuen a ple rendiment.

3.1. Opcions d'instal·lació

En primer lloc, s'ha reflexionat sobre quins factors poden influenciar la producció d'energia elèctrica i la inversió econòmica d'un projecte d'aquestes característiques. Bàsicament, si es té en compte que s'escollirà un model estàndard de placa i inversor igual en tots els casos, per minimitzar la influència estadística en altres paràmetres. Aquests factors acaben sent els següents:

3.1.1. Bateries

El primer factor a considerar és la presència d'un conjunt de bateries. Si aquestes existeixen permeten aprofitar l'excedent d'energia produït per les plaques en moments de superàvit i emmagatzemar-lo pels instants on sigui necessari.

En el cas de no existir l'excedent o bé s'ha de vendre a la xarxa elèctrica, o bé no proporciona cap benefici. En aquest projecte, com que es treballa amb nivells relativament baixos de generació elèctrica, basant-se en el que estableix el RD 413/2014 [14], s'ha considerat l'opció de retribució econòmica com a inviable. Les instal·lacions d'autoconsum connectades a la xarxa elèctrica es regulen mitjançant el RD 900/2015 [15].

3.1.2. Orientació automàtica (Tracking & Backtracking)

És un factor que permet obtenir més energia fotovoltaica gràcies a la implementació d'un eix motoritzat que manté les plaques el més perpendiculars possibles als rajos solars i evita que aquestes es facin ombra entre si.

En aquest projecte no es tindrà en consideració aquesta opció, ja que, en estar motoritzats, no es recomana instal·lar seguidors en la teulada d'una granja.

3.1.3. Grup electrogen

Aquest factor consisteix en la incorporació d'un grup electrogen que produeixi corrent elèctric mitjançant la combustió de gasoil i garanteixi la independència de l'explotació de la xarxa elèctrica, tant en els moments que aquesta pugui fallar com en els moments on l'energia fotovoltaica no sigui suficient per cobrir la demanda.

L'explotació ramadera, abans de l'inici d'aquest projecte, ja posseeix un grup electrogen per subministrar energia elèctrica en cas de fallada de la xarxa elèctrica. No obstant, per estudiar certs casos on la instal·lació s'aïllaria completament de la xarxa elèctrica, s'ha cregut oportú l'adquisició d'un nou grup electrogen, ja que proporcionaria seguretat.

3.1.4. Connexió a la xarxa elèctrica

Malgrat s'ha comentat que l'explotació posseeix prèviament de connexió a la xarxa, es tindrà en compte el fet d'un possible aïllament d'aquesta. És a dir, es realitzaran els càlculs com si la granja fos de nova construcció i encara no posseís aquesta connexió.

Per tant, s'acaba arribant a la proposició d'uns quants casos diferents, els quals seran analitzats i comparats, tant energètica com econòmicament, per extreure'n la solució més idònia possible.

La Taula 2 és un resum de tots els casos que poden aparèixer amb els factors proposats anteriorment. Addicionalment, s'hi inclou la possibilitat d'utilitzar diferents nombres de bateries i la possibilitat de trobar-se davant d'una instal·lació de nova creació, on l'explotació encara no està connectada a la xarxa.

Taula 2.- Il·lustració de possibles casos (0: No existeix, 1: Existeix). En el cas del grup electrogen, un 0 significa la no adquisició d'un segon grup mentre que un 1, sí.

Abreviatura	Connexió Xarxa	Grup electrogen	Bateries	Plaques	Interés d'estudi	Pentinat nº bateries	Possible aïllament inicial de la xarxa	Casos
X0G0B0PV0	0	0	0	0	No			0
X0G0B0PV1	0	0	0	1	No			0
X0G0B1PV0	0	0	1	0	No			0
X0G0B1PV1	0	0	1	1	Sí	*	*	4
X0G1B0PV0	0	1	0	0	Sí		*	2
X0G1B0PV1	0	1	0	1	Sí		*	2
X0G1B1PV0	0	1	1	0	No			0
X0G1B1PV1	0	1	1	1	Sí	*	*	4
X1G0B0PV0	1	0	0	0	Cas base			0
X1G0B0PV1	1	0	0	1	Sí			1

X1G0B1PV0	1	0	1	0	No			0
X1G0B1PV1	1	0	1	1	Sí	*		2
X1G1B0PV0	1	1	0	0	No			0
X1G1B0PV1	1	1	0	1	Sí			1
X1G1B1PV0	1	1	1	0	Potser			0
X1G1B1PV1	1	1	1	1	Sí	*		2
TOTAL CASOS								18

La Figura 1 i la Figura 2 mostren les configuracions que seguirien aquests casos.

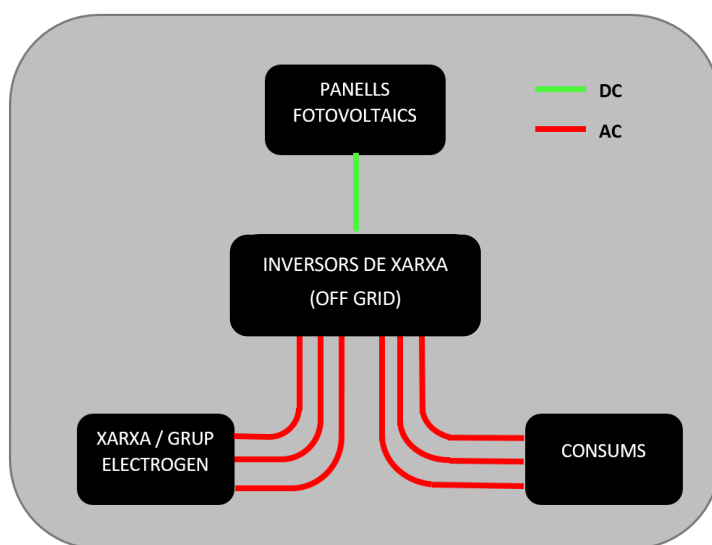


Figura 1.- Configuració que mostrarien els casos que no porten incorporades bateries.

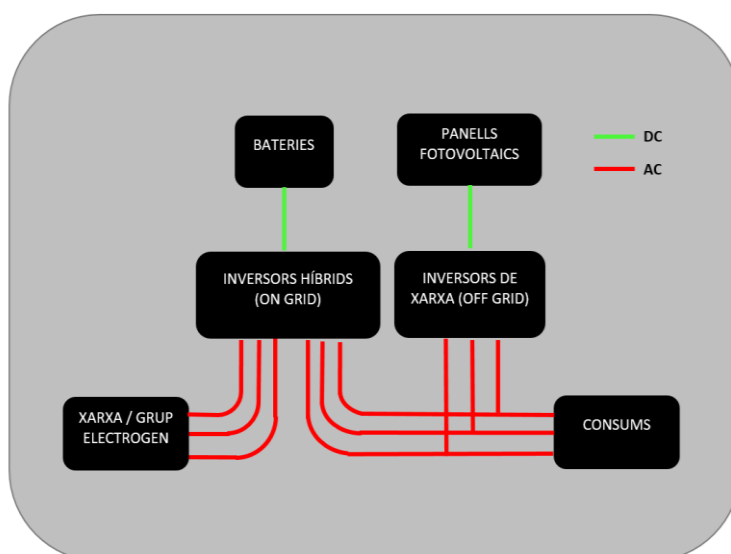


Figura 2.- Configuració que mostrarien els casos que porten incorporades bateries.

4. Projecte tècnic

4.1. Memòria descriptiva

4.1.1. Equipament del sistema

En aquest apartat es descriu quins són els aparells i equipament bàsic utilitzat per dur a terme el projecte d'una instal·lació fotovoltaica. L'elecció de l'instrumental pretén agafar models de característiques força estàndards i que es mantindran fixes durant tot el projecte, per poder comparar com influiran altres variables més detalladament.

4.1.1.1. Panell fotovoltaic

S'ha optat pels panells fotovoltaics ATERSA Ultra A-270P [5] (Figura 3), que presenten les següents característiques principals:

- Cèl·lules de silici policristal·lines.
- Potència nominal de 270 Wp.
- Corrent de 8,47 A en potència màxima i corrent de 9,07 A en curtcircuit.
- Tensió de sortida de 31,88 V en potència màxima i tensió de 38,3 V en circuit obert.

L'elecció d'aquests panells ha estat marcada per les últimes tendències d'instal·lació utilitzades per l'empresa Gascan Solar Tècnics SL. En els darrers anys s'ha optat per mòduls fotovoltaics d'una potència d'entre 270 i 300 Wp¹, ja que com més potència es pugui obtenir amb menys equips més econòmic pot ser el pressupost. Per altra banda, el tipus de cel·les escollides han estat les de silici policristal·lí perquè, malgrat no ser tant rendibles i duradores com les monocristal·lines, presenten un millor preu.



Figura 3.- Panell fotovoltaic ATERSA Ultra A-270P.

¹ Wp: Watts pico, és la potència que subministra un panell fotovoltaic quan està exposat a una radiació de 1000W/m².

La fitxa tècnica del panell fotovoltaic es mostra a la Figura 4.

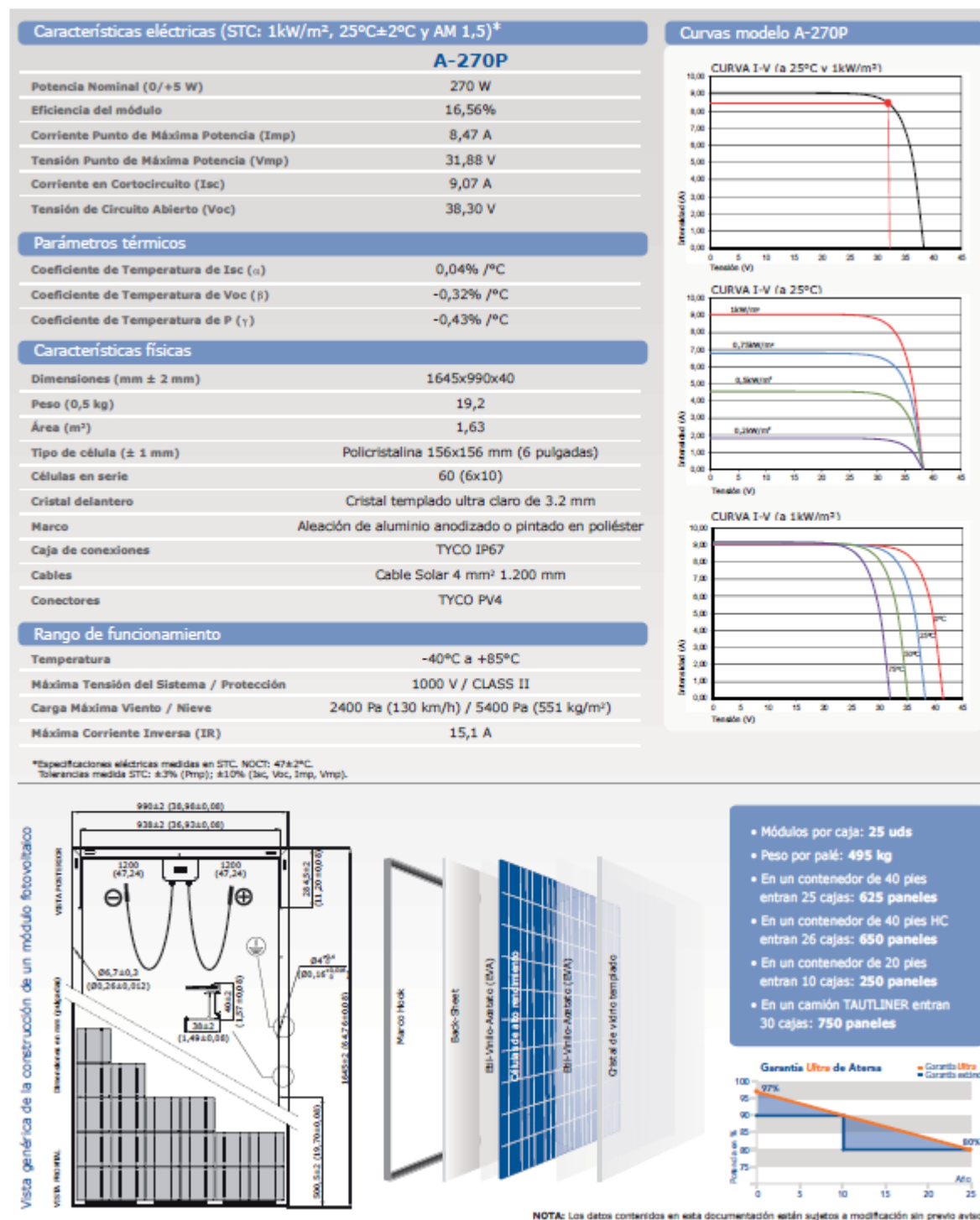


Figura 4.- Fitxa tècnica ATERSA Ultra A-270P.

4.1.1.2. Suports panells fotovoltaics

L'estructura que sostindrà els panells i els donarà la inclinació desitjada és el sistema GULPIYURI de l'empresa Alusín [8], el qual està conformat per perfils, grapes i accessoris d'alumini extruït de primera fusió, conté juntes EPDM i adhesiu a doble cara per assegurar l'estanqueïtat, resistència a gradients tèrmics i raigs UV i es fixa mitjançant cargols d'acer inoxidable A2/A4.

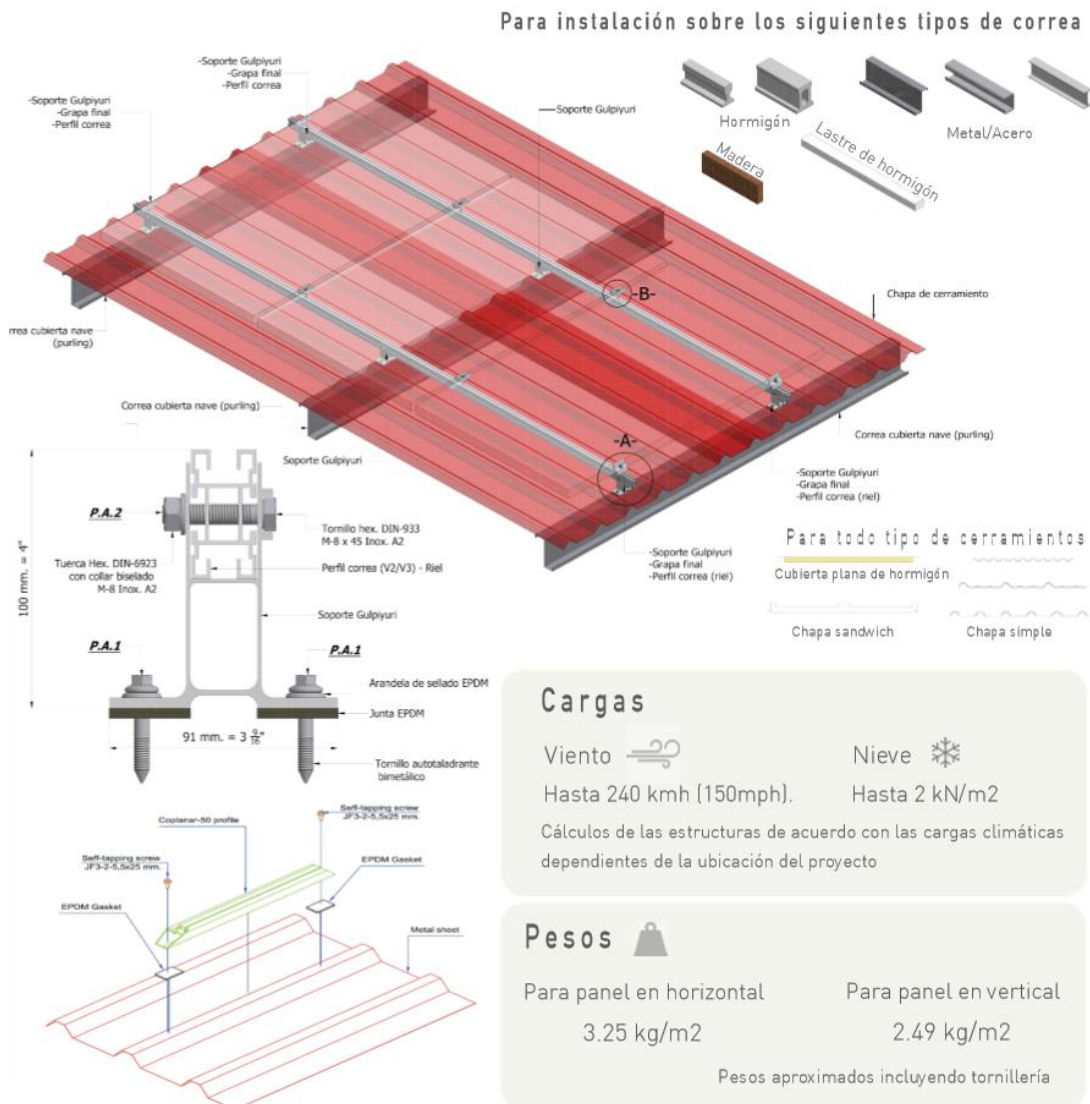


Figura 5.- Fitxa tècnica sistema GULPIYURI de l'empresa Alusín.

4.1.1.3. Grup electrogen

El grup electrogen és el component auxiliar de la instal·lació que produeix energia elèctrica mitjançant la combustió de gasoil quan la producció per part dels mòduls fotovoltaics és

insuficient i no existeix o no es té contractada una connexió a la xarxa elèctrica. El grup electrogen escollit per aquesta instal·lació ha estat el INMESOL 27 kVA PRP / 30 kVA LTP insonoritzat i amb capot, complementat per un dipòsit de gasoil de 2000L. Les característiques principals del grup electrogen estan indicades en la fitxa tècnica mostrada en la Figura 6.

PRP	LTP
POTENCIA CONTINUA: 27 kVA	POTENCIA EMERGENCIA: 30 kVA
<small>PRP "Prime Power" norma ISO 8528-1</small>	<small>LTP "Limited Time Power" norma ISO 8528-1</small>

MOTOR

MARCA	MODELO
KOHLER	KDI2504M

ALTERNADOR

MARCA	MODELO
MECC-ALTE	ECP 28-VL / 4

VOLTAJE	HZ	FASE	COS Ø	PRP kVA/kW	LTP kVA/kW	AMP. (LTP)
400/230	50	3	0,8	25,4/20,4	28,0/22,4	40,42

CONSUMO DEL GRUPO ELECTRÓGENO

% POTENCIA UTILIZADA	LITROS/HORA
50%	3.20
75%	4.70
100%	6.20

DIMENSIONES, CAPACIDADES, PESO APROXIMADO Y NIVEL SONORO

Dimensiones (mm)		
LARGO	ANCHO	ALTO
2000	950	1253
DEPÓSITO DE COMBUSTIBLE (L)		PESO (kg)
85		950

CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR

MARCA	MODELO
-------	--------

KOHLER

KDI2504M

Datos generales

Potencia PRP (kWm)	23.10
Potencia LTP (kWm)	25.40
Nº cilindros	4
Cilindrada (L)	2.482
Diámetro por carrera (mm)	88 x 102
Ratio de compresión	
Sistema de refrigeración	LIQUIDO
Inyección	DIRECTO
Aspiración	NATURAL
Regulador de serie	MECÁNICO
Acoplamiento volante	4-7,5

Sistema de lubricación

Capacidad Aceite (L)	11.50
Consumo del aceite (%)	0.10
Min. alarma presión aceite (bar)	

Sistema de ventilación

Caudal de refrigeración de aire (m³/h)	2100
Caudal aire en combustión (m³/h)	132.00
Máx. contrap. para el ventilador (mbar)	

Sistema de escape

Caudal gases de escape (m³/h)	116
Contrapresión de escape (mbar)	70
Temp. gases de escape (°C)	520

Sistema eléctrico

VDC (V)	12
Batería (Ah)	70
Motor arranque (kW)	

Figura 6.- Fitxa tècnica del grup electrogen INMESOL 27 kVA PRP / 30 kVA LTP.

4.1.1.4. Inversors de xarxa

Pel que fa als inversors de xarxa, s'ha optat pel model FRONIUS SYMO 15.0-3-M [6]. S'ha escollit aquest inversor, ja que, segons l'empresa Gascan Solar Tècnics, presenta bones característiques i rendiment i, a més, presenta un conveni d'instal·lació amb l'empresa a la qual pertanyen els inversors carregadors.

Aquests inversors s'ubicaran en algunes de les casetes que funcionen actualment com a magatzem. La seva funció és convertir l'energia elèctrica de CC que surt dels panells fotovoltaics a una tensió de 400/230V de corrent alterna a 50Hz. Les sortides dels inversors són trifàsiques i estan connectades paral·lelament a la sortida dels inversors híbrids.

A l'apartat 4.2.1.2 *Configuració dels inversors de xarxa* es determina que cada inversor estarà alimentat per 3 línies de 22 mòduls fotovoltaics, de manera que cada inversor rebrà una potència nominal de 17,82 kWp en el moment que la generació és màxima. Aquestes línies van connectades directament a l'inversor, ja que aquest disposa d'una totalitat de 6 entrades de CC. La fitxa tècnica de l'inversor escollit es mostra a la Figura 7.

DATOS DE ENTRADA

Número de seguidores MPP	2,0
Máxima corriente de entrada ($I_{dc\ max}$)	33,0 / 27,0 A
Máxima corriente de cortocircuito por serie FV	49,5 / 40,5 A
Rango de tensión de entrada CC ($U_{cc\ mín.} - U_{cc\ máx.}$)	200 - 1000 V
Tensión CC mínima de puesta en marcha ($U_{dc\ arranque}$)	200,0 V
Tensión de entrada nominal ($U_{dc,r}$)	600,0 V
Rango de tensión MPP ($U_{mpp\ mín.} - U_{mpp\ máx.}$)	320 - 800 V
Rango de tensión de punto de rendimiento máximo utilizable	200 - 800 V
Número de entradas CC	3 + 3
Máxima salida del generador FV ($P_{cc\ máx.}$)	22,5 kWpeak

DATOS DE SALIDA

Potencia nominal CA ($P_{ac,r}$)	15,0 kW
Máxima potencia de salida ($P_{ac\ máx.}$)	15,0 kVA
Corriente de salida CA ($I_{ca\ nom}$)	21,7 A
Acoplamiento a la red ($U_{ca,r}$)	3~ NPE 400/230, 3~ NPE 380/220 V
Rango de tensión CA ($U_{mín.} - U_{máx.}$)	150 - 280 V
Frecuencia (f_r)	50 / 60 Hz
Rango de frecuencia ($f_{mín.} - f_{máx.}$)	45 - 65 Hz
Coefficiente de distorsión no lineal	1,5 %
Factor de potencia ($\cos \varphi_{ac,r}$)	0 - 1 ind./cap.

DATOS GENERALES	
Dimensión (altura)	725,0 mm
Dimensión (anchura)	510,0 mm
Dimensión (profundidad)	225,0 mm
Peso	43,4 kg
Tipo de protección	IP 66
Clase de protección	1,0
Categoría de sobretensión (CC / CA) ¹⁾	2 / 3
Consumo nocturno	< 1 W
Concepto de inversor	Sin transformador
Refrigeración	Refrigeración de aire regulada
Instalación	Instalación interior y exterior
Rango de temperatura ambiente	-40°C - +60°C
Humedad del aire admisible	0 - 100 %
Máxima altitud ²⁾	2.000 m / 3.400 m
Tecnología de conexión CC	Conexión de 6x CC+, 6x CC- bornes roscados 2,5 mm ² - 16 mm ²
Tecnología de conexión principal	Conexión de 5 polos CA bornes roscados 2.5 - 16 mm ²
Certificados y cumplimiento de normas	ÖVE / ÖNORM E 8001-4-712, DIN V VDE 0126-1-1/A1, VDE AR N 4105, IEC 62109-1/-2, IEC 62116, IEC 61727, AS 3100, AS 4777-2, AS 4777-3, CER 06-190, G83/2, UNE 206007-1, SI 4777, CEI 0-16, CEI 0-21, NRS 097

Figura 7.- Fitxa tècnica de l'inversor Fronius SYMO 15.0-3-M.

4.1.1.5. Inversors híbrids carregadors

Pel que fa als inversors híbrids on grid s'han escollit els Victron Multiplus inverter/charger 5 kVA [7], els quals s'ubicaran en alguna de les casetes utilitzades actualment com a magatzem al costat de la granja. Aquests inversors tenen la funció de carregar les bateries i transformar l'energia elèctrica de corrent continu de 48 Vcc provinent de les bateries en energia elèctrica de corrent altern amb una tensió de 230 Vac a una freqüència de 50 Hz.

Tanmateix, aquest accessori realitza la majoria d'operacions de control i regulació del sistema, així com que ordena l'entrada d'energia elèctrica des de la xarxa o la posada en marxa del grup electrogen en els moments de necessitat i gestiona l'energia subministrada pels inversors de xarxa provinent dels panells.



Figura 8.- Inversor híbrid Victron Multiplus inverter/charger 5kVA.

MultiPlus	12 Volt 24 Volt 48 Volt	C 12/800/35 C 24/ 800/16	C 12/1200/50 C 24/1200/25	C 12/1600/70 C 24/1600/40	C 12/2000/80 C 24/2000/50	12/3000/120 24/3000/70 48/3000/35	24/5000/120 48/5000/70
PowerControl		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
PowerAssist		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Transfer switch (A)		16	16	16	30	16 or 50	100
INVERTER							
Input voltage range (V DC)		9,5 – 17 V		19 – 33 V	38 – 66 V		
Output		Output voltage: 230 VAC ± 2%				Frequency: 50 Hz ± 0,1% (1)	
Cont. output power at 25°C (VA) (3)		800	1200	1600	2000	3000	5000
Cont. output power at 25°C (W)		700	1000	1300	1600	2400	4000
Cont. output power at 40°C (W)		650	900	1200	1400	2200	3700
Cont. output power at 65°C (W)		400	600	800	1000	1700	3000
Peak power (W)		1600	2400	3000	4000	6000	10.000
Maximum efficiency (%)		92 / 94	93 / 94	93 / 94	93 / 94	93 / 94 / 95	94 / 95
Zero load power (W)		8 / 10	8 / 10	8 / 10	9 / 11	20 / 20 / 25	30 / 35
Zero load power in AES mode (W)		5 / 8	5 / 8	5 / 8	7 / 9	15 / 15 / 20	25 / 30
Zero load power in Search mode (W)		2 / 3	2 / 3	2 / 3	3 / 4	8 / 10 / 12	10 / 15
CHARGER							
AC Input		Input voltage range: 187-265 VAC		Input frequency: 45 – 65 Hz		Power factor: 1	
Charge voltage 'absorption' (V DC)		14,4 / 28,8 / 57,6					
Charge voltage 'float' (V DC)		13,8 / 27,6 / 55,2					
Storage mode (V DC)		13,2 / 26,4 / 52,8					
Charge current house battery (A) (4)		35 / 16	50 / 25	70 / 40	80 / 50	120 / 70 / 35	120 / 70
Charge current starter battery (A)		4 (12 V and 24 V models only)					
Battery temperature sensor		yes					
GENERAL							
Auxiliary output (5)		n. a.	n. a.	n. a.	n. a.	Yes (16A)	Yes (50A)
Programmable relay (6)		Yes					
Protection (2)		a - g					
VE.Bus communication port		For parallel and three phase operation, remote monitoring and system integration					
General purpose com. port		n. a.	n. a.	n. a.	n. a.	Yes	Yes
Remote on-off		Yes					
Common Characteristics		Operating temp. range: -40 to +65°C (fan assisted cooling) Humidity (non-condensing): max 95%					
ENCLOSURE							
Common Characteristics		Material & Colour: aluminium (blue RAL 5012)				Protection category: IP 21	
Battery-connection		battery cables of 1.5 meter			M8 bolts	Four M8 bolts (2 plus and 2 minus connections)	
230 V AC-connection		G-ST18i connector			Spring-clamp	Screw terminals 13 mm² (6 AWG)	M6 bolts
Weight (kg)		10	10	10	12	18	30
Dimensions (hwxwd in mm)		375x214x110			520x255x125	362x258x218	444x328x240
STANDARDS							
Safety		EN-IEC 60335-1, EN-IEC 60335-2-29, IEC 62109-1					
Emission, Immunity		EN 55014-1, EN 55014-2, EN-IEC 61000-3-2, EN-IEC 61000-3-3, IEC 61000-6-1, IEC 61000-6-2, IEC 61000-6-3					
Road vehicles		12V and 24V models: ECE R10-4					
Anti-islanding		See our website					
1) Can be adjusted to 60 Hz; 120 V 60 Hz on request 2) Protection key: a) output short circuit b) overload c) battery voltage too high d) battery voltage too low e) temperature too high f) 230 VAC on inverter output g) input voltage ripple too high 3) Non-linear load, crest factor 3:1 4) At 25°C ambient 5) Switches off when no external AC source available 6) Programmable relay that can a.o. be set for general alarm, DC under voltage or genset start/stop function AC rating: 230 V/4A DC rating: 4 A up to 35 VDC, 1 A up to 60 VDC							

Figura 9.- Fitxa tècnica Victron Multiplus inverter/charger 5kVA.

4.1.1.6. Bateries



El sistema de bateries consta de diversos elements estacionaris de 2V OPzS Solar 3100, mitjançant la combinació dels quals s'arriba a la tensió i capacitat desitjades. Aquests elements, posseeixen una capacitat unitària de C24=2520 Ah amb una autonomia d'un dia, que és l'autonomia del conjunt de bateries d'aquest projecte. Aquest tipus de bateries tenen una esperança de vida de 3000 cicles a una profunditat de descàrrega de 50%, la utilitzada en aquest projecte.

L'elecció d'aquest tipus de bateries ha vingut marcada perquè presenten un bon rendiment i, malgrat ser més voluminoses, presenten un millor preu que les bateries de liti.

Les bateries estan situades dins una sala de la granja, tal com s'indica en els plànols. Els elements de cada sèrie estan disposats en fila i situats sobre esglaons, la qual cosa facilita la comprovació visual dels nivells de càrrega d'aquestes.

Cada grup de dos sèries està connectat a un embarrat i aquests, a la vegada, estan connectats a la part de corrent continu les inversors carregadors.

La Figura 10 mostra la fitxa tècnica dels elements que formen el sistema de bateries.

Datos y características técnicas

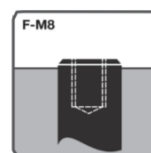
Tipo	Número de componente	Tensión nominal V	Capacidad nominal C ₂₅ 1.85 Vpc 25 °C Ah	Longitud (l) max. mm	Anchura (b/w) max. mm	Altura* (h) max. mm	Longitud instalada max. mm	Peso con ácido incluido Kg (aprox.)	Peso de ácido** Kg (aprox.)	Resistencia interna mOhm	Corriente cortocircuito A	Terminal	Núm. de polos
OPzS Solar 190	NVSL020190WC0FA	2	190	105	208	395	115	13.7	5.20	1.45	1400	F-M8	1
OPzS Solar 245	NVSL020245WC0FA	2	245	105	208	395	115	15.2	5.00	1.05	1950	F-M8	1
OPzS Solar 305	NVSL020305WC0FA	2	305	105	208	395	115	16.6	4.60	0.83	2450	F-M8	1
OPzS Solar 380	NVSL020380WC0FA	2	380	126	208	395	136	20.0	5.80	0.72	2850	F-M8	1
OPzS Solar 450	NVSL020450WC0FA	2	450	147	208	395	157	23.3	6.90	0.63	3250	F-M8	1
OPzS Solar 550	NVSL020550WC0FA	2	550	126	208	511	136	26.7	8.10	0.63	3250	F-M8	1
OPzS Solar 660	NVSL020660WC0FA	2	660	147	208	511	157	31.0	9.30	0.56	3650	F-M8	1
OPzS Solar 765	NVSL020765WC0FA	2	765	168	208	511	178	35.4	10.8	0.50	4100	F-M8	1
OPzS Solar 985	NVSL020985WC0FA	2	985	147	208	686	157	43.9	13.0	0.47	4350	F-M8	1
OPzS Solar 1080	NVSL021080WC0FA	2	1080	147	208	686	157	47.2	12.8	0.43	4800	F-M8	1
OPzS Solar 1320	NVSL021320WC0FA	2	1320	212	193	686	222	59.9	17.1	0.30	6800	F-M8	2
OPzS Solar 1410	NVSL021410WC0FA	2	1410	212	193	686	222	63.4	16.8	0.27	7500	F-M8	2
OPzS Solar 1650	NVSL021650WC0FA	2	1650	212	235	686	222	73.2	21.7	0.26	7900	F-M8	2
OPzS Solar 1990	NVSL021990WC0FA	2	1990	212	277	686	222	86.4	26.1	0.23	8900	F-M8	2
OPzS Solar 2350	NVSL022350WC0FA	2	2350	212	277	836	222	108	33.7	0.24	8500	F-M8	2
OPzS Solar 2500	NVSL022500WC0FA	2	2500	212	277	836	222	114	32.7	0.22	9300	F-M8	2
OPzS Solar 3100	NVSL023100WC0FA	2	3100	215	400	812	225	151	50.0	0.16	12800	F-M8	3
OPzS Solar 3350	NVSL023350WC0FA	2	3350	215	400	812	225	158	48.0	0.14	14600	F-M8	3
OPzS Solar 3850	NVSL023850WC0FA	2	3850	215	490	812	225	184	60.0	0.12	17000	F-M8	4
OPzS Solar 4100	NVSL024100WC0FA	2	4100	215	490	812	225	191	58.0	0.11	17800	F-M8	4
OPzS Solar 4600	NVSL024600WC0FA	2	4600	215	580	812	225	217	71.0	0.11	18600	F-M8	4
6V 4 OPzS 200	NVSL060280WC0FB	6	294	272	206	347	282	41.0	13.0	2.68	2283	F-M8	1
6V 5 OPzS 250	NVSL060350WC0FB	6	364	380	206	347	392	56.0	20.0	2.39	2800	F-M8	1
6V 6 OPzS 300	NVSL060420WC0FB	6	417	380	206	347	392	63.0	20.0	1.96	3106	F-M8	1
12V 1 OPzS 50	NVSL120070WC0FB	12	82.7	272	206	347	282	35.0	15.0	18.1	688	F-M8	1
12V 2 OPzS 100	NVSL120140WC0FB	12	139	272	206	347	282	45.0	14.0	9.26	1314	F-M8	1
12V 3 OPzS 150	NVSL120210WC0FB	12	210	380	206	347	392	64.0	19.0	6.46	1884	F-M8	1

Tipo	C ₆ 1.75 Vpc	C ₁₀ 1.80 Vpc	C ₁₂ 1.80 Vpc	C ₂₄ 1.80 Vpc	C ₄₈ 1.80 Vpc	C ₇₂ 1.80 Vpc	C ₁₀₀ 1.85 Vpc	C ₁₂₀ 1.85 Vpc	C ₂₄₀ 1.85 Vpc
OPzS Solar 190	122	132	134	145	165	175	185	190	200
OPzS Solar 245	159	173	176	190	215	230	240	245	260
OPzS Solar 305	203	220	224	240	270	285	300	305	320
OPzS Solar 380	250	273	277	300	330	350	370	380	400
OPzS Solar 450	296	325	330	355	395	420	440	450	470
OPzS Solar 550	353	391	398	430	480	515	540	550	580
OPzS Solar 660	422	469	477	515	575	615	645	660	695
OPzS Solar 765	492	546	555	600	670	710	750	765	805
OPzS Solar 985	606	700	710	770	860	920	970	985	1035
OPzS Solar 1080	669	773	784	845	940	1000	1055	1080	1100
OPzS Solar 1320	820	937	950	1030	1150	1230	1295	1320	1385
OPzS Solar 1410	888	1009	1024	1105	1225	1305	1380	1410	1440
OPzS Solar 1650	1024	1174	1190	1290	1440	1540	1620	1650	1730
OPzS Solar 1990	1218	1411	1430	1550	1730	1850	1950	1990	2090
OPzS Solar 2350	1573	1751	1770	1910	2090	2200	2300	2350	2470
OPzS Solar 2500	1667	1854	1875	2015	2215	2335	2445	2500	2600
OPzS Solar 3100	2080	2318	2343	2520	2755	2910	3040	3100	3250
OPzS Solar 3350	2268	2524	2550	2740	2985	3135	3280	3350	3520
OPzS Solar 3850	2592	2884	2915	3135	3430	3615	3765	3850	4040
OPzS Solar 4100	2775	3090	3125	3355	3650	3840	4000	4100	4300
OPzS Solar 4600	3099	3451	3490	3765	4100	4300	4500	4600	4850
6V 4 OPzS 200	203	206	229	250	296	304	287	294	338
6V 5 OPzS 250	245	257	284	311	374	383	355	364	424
6V 6 OPzS 300	284	309	322	354	420	432	408	417	482
12V 1 OPzS 50	55.0	51.5	63.7	69.4	78.4	79.8	81.0	82.7	92.9
12V 2 OPzS 100	95.4	103	108	118	141	145	136	139	162
12V 3 OPzS 150	131	154	162	177	206	217	203	210	234

Capacidades en Ah (C₆-C₂₄₀ a 25°C)

* Incluye conector instalado. La altura mencionada puede variar dependiendo de las aperturas utilizadas
 ** Densidad del ácido d_N = 1.24 kg/l

Terminal y par de apriete



12 Nm para monoblocs;
 20 Nm para elementos

Los datos también son válidos para el modelo de carga en seco.

Habrà que cambiar la «W» (Wet) por «D» (Dry) en el número de componente. Ej:

> Relleno y cargado: NVSL120070 W C0FB

> Cargado en seco: NVSL120070 D C0FB

Figura 10.- Fitxa tècnica dels elements estacionaris OPzS Solar.

4.1.1.7. Cablejat i connexions

Les longituds i les seccions del cablejat de la instal·lació estan especificades a l'apartat 4.1.1.7 *Cablejat i connexions* de la memòria de càlcul.

La instal·lació consta de cables unipolars per les parts de corrent contínua, cables bipolars per les parts de corrent alterna monofàsica i cables amb 3 fases i neutre per les parts de corrent alterna trifàsica. Tot i això, cal diferenciar entre l'aïllament del cablejat que es situa a l'exterior i l'interior del teulat de la granja.

- Exterior: el tipus de cable usat és el Powerflex RV-K 0,6/1kV del fabricant Top Cable [9], el qual disposa d'un aïllament de polietilè reticulat (XLPE) (Figura 11).
- Interior: el tipus de cable usat és el Toxfree ZH RZ1-K 0,6/1kV (AS) (Figura 11), el qual disposa també d'un aïllament de polietilè reticulat (XLPE), però lliure d'halògens i, per tant, en cas d'incendi, no emet substàncies tòxiques ni gasos corrosius.

El mètode d'instal·lació del cablejat és a través de safates de reixeta Rejiband [10] (Figura 11) en el cas de les línies situades a l'aire lliure i a través del tub UNE-EN 61386-24:2011 [16] en el cas de les línies soterrades.

Per la realització dels paral·lels, en la part de corrent continu, es realitza mitjançant embarrats i, en la part de corrent alterna, es fa en les caixes de paral·lels de la sala d'inversors mitjançant regletes elèctriques.

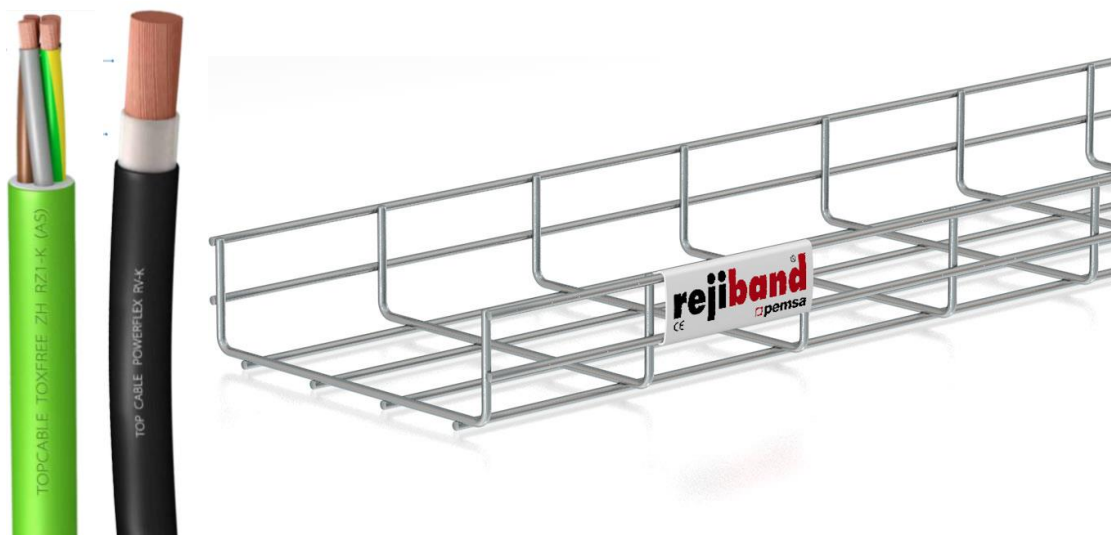


Figura 11.- D'esquerra a dreta, aspecte de Toxfree ZH RZ1-K, Powerflex RV-K i safata de reixeta Rejiband.

4.1.1.8. Control i comunicacions

Com ja s'ha explicat anteriorment, el control de la instal·lació es realitza mitjançant els inversors carregadors Victron Multiplus 5 kVA. Tot i així, aquests estan complementats per diversos accessoris que ajuden a establir una comunicació entre el sistema i l'usuari de la instal·lació, els quals es descriuen a continuació:

- Victron Color Control GX: Ofereix un control i monitorització intuïtiu de tots els sistemes elèctrics de Victron. Permet un sistema d'arrancada/parada altament personalitzable, utilitzant l'estat de càrrega, la tensió, la càrrega i altres paràmetres per aplicar algorismes per dirigir els consums cap a els horaris de potència vall. A més, gràcies a la pantalla gràfica, es mostren indicacions clares i completes sobre l'estat del sistema. Pot connectar-se a Internet amb un cable Ethernet mitjançant Wi-Fi.
- Victron Battery Balancer: Dispositiu que equilibra l'estat de càrrega de dos bateries de 12 V connectades en sèrie o de diverses cadenes paral·leles de bateries connectades en sèrie. El BMV-702 medeix el punt mitjà d'una cadena de bateries i mostra la desviació respecte al punt mitjà ideal en volts o percentatge. Es poden establir percentatges de desviació per separat per activar una alarma visual/sonora i per tancar un relé sense tensió.

Els dispositius descrits anteriorment formen un bus de comunicació connectat amb cable RJ45.

Per monitoritzar els inversors de xarxa i, per tant, la instal·lació fotovoltaica, s'estableix un bus de comunicació amb cablejat RJ45 entre tots els inversors de xarxa, que acaba fins un *datalogger*.

- Fronius DATCOM Sensor Box: Dispositiu que permet la comunicació entre l'usuari de la instal·lació i els inversors de xarxa. Mitjançant aquest aparell l'usuari pot conèixer les dades de producció fotovoltaica, així com un ampli rang de dades dels inversors de xarxa. Disposa d'una sortida en RS232 destinada a la connexió d'un mòdem i una sortida RS232 destinada a la connexió directa amb un ordinador.
- Switch o commutador RS232 2 entrades: Posseeix dos ports d'entrada RS232, els quals commuten i obté una única sortida RS232.
- Mòdem Owasys i36 [11]: Permet la comunicació sense fil de l'usuari amb el sistema mitjançant protocols GSM, EDGE, HSDPA i 3G. Està connectat amb el commutador mitjançant cablejat RS232.

4.1.1.9. Elements de protecció i comandament

4.1.1.9.1 Interruptor bypass

L'interruptor bypass és el dispositiu de comandament que permet commutar entre l'ús de l'energia provinent dels mòduls fotovoltaics i la del grup electrogen. Addicionalment, també s'inclou un interruptor bypass d'emergència, que permet desconectar el grup electrogen de la instal·lació en cas de manteniment o reparació.

Els interruptors bypass d'aquest projecte són interruptors tetrapolars que han de suportar una intensitat de 50A i estan situats en una de les caixes elèctriques de la sala d'inversors.

4.1.1.9.2 Proteccions CC

Els elements de protecció contra sobreintensitats de les línies de CC són fusibles gPV de 1000 Vcc en la part fotovoltaica i NH2 gG de 500 Vcc en el cas de les bateries. Aquests dispositius estan instal·lats en portafusibles en les caixes elèctriques de la sala d'inversors i protegeixen les línies contra sobrecàrregues i curtcircuits. Segons la norma ITC-BT-22 [13], aquests elements han de complir les condicions expressades en l'Equació 1.

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

$$I_f \leq 1,45 \cdot I_z$$

Equació 1.- Expressions que mostren les intensitats normatives dels elements de protecció en CC.

on:

I_b és la intensitat de disseny del circuit

I_n és la intensitat nominal del fusible

I_f és la intensitat de fusió instantània del fusible

I_z és la intensitat màxima suportada pel conductor

El sistema dissenyat en aquest projecte consta de 12 fusibles en la part fotovoltaica, 4 fusibles en la línia de les bateries als embarrats i 12 fusibles en els conductors dels embarrats als inversors carregadors. La Taula 3 mostra les intensitats nominals i les intensitats de fusió dels corresponents fusibles.

Taula 3.- Intensitats proposades pels elements de protecció en CC.

	I_n	I_f
Part fotovoltaica	10 A	19 A
Part bateries	200 A	320 A
Part embarrats	125 A	200 A

4.1.1.9.3 Proteccions CA

Els elements de protecció contra sobreintensitats de les línies de CA són interruptors magnetotèrmics tetrapolars de 500 Vac i amb un poder de tall de 25 kA, instal·lats en el quadre elèctric Pragma 13 d'una fila a l'interior de la sala d'inversors. Segons la norma ITC-BT-22, aquests han de complir les condicions de l'Equació 2.

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

$$I_f \leq 1,45 \cdot I_z$$

Equació 2.- Expressions que mostren les intensitats normatives dels elements de protecció en CA.

on:

I_b és la intensitat de disseny del circuit

I_n és la intensitat nominal del magnetotèrmic

I_f és la intensitat d'actuació instantània del magnetotèrmic

I_z és la intensitat màxima suportada pel conductor

En aquest projecte en particular, el sistema consta d'un interruptor magnetotèrmic a la sortida del grup electrogen, un a la sortida de cadascun dels inversors de xarxa i un a l'entrada dels consums. La Taula 4 mostra les intensitats nominals i de fusió dels diferents interruptors magnetotèrmics.

Taula 4.- Intensitats proposades pels elements de protecció en CC.

	I_n	I_f
Sortida grup electrogen	50 A	65 A
Sortida inversors de xarxa	25 A	32,5 A
Entrada dels consums	50 A	65 A

4.1.1.9.4 Posada a terra

La posada o connexió a terra és la unió elèctrica directa, sense fusibles ni protecció alguna, entre una part del circuit elèctric o alguna superfície que podria ser conductora i un elèctrode o grups d'electrodes enterrats a terra. S'utilitza aquesta tècnica com a protecció, ja que, en cas d'una fuga i possible contacte entre un conductor electrilitzat i un conductor aliè, si algú entra en contacte amb cert conductor, desaparegui el risc de patir una descàrrega.

En conseqüència, la instal·lació de posada a terra haurà de garantir que en el conjunt de les instal·lacions, edificis i superfície pròxima del terreny no apareguin diferències de potencial perilloses i haurà de permetre el pas a terra dels corrents de defecte o dels de descàrrega d'origen atmosfèric.

Totes les masses metàl·liques de la instal·lació han d'estar connectades a l'electrode de posada a terra, entre les quals són destacables:

- Estructura mòduls fotovoltaics.
- Bateries.
- Equips electrònics amb masses metàl·liques.

És rellevant apuntar que la instal·lació de posada a terra ha de complir els requisits de la norma ITC-BT-18 del REBT [12].

4.2. Memòria de càlcul

4.2.1. Justificació de càlculs

Es realitzaran els càlculs considerant un factor de potència de $\cos(\varphi)=0,95$, ja que, malgrat l'exploació posseeix d'una bateria de condensadors compensadors de reactiva, mai s'aconsegueix arribar a l'ideal.

4.2.1.1. Potència necessària de la instal·lació

Es va dur a terme una visita presencial a les instal·lacions per tal de realitzar un inventari de tots els equips que consumeixen energia elèctrica, així com anotar la seva potència nominal amb la finalitat de calcular la potència contractada que necessitava la instal·lació. Per altra banda, per establir quins eren els coeficients de simultaneïtat i utilització, es va conversar amb el propietari sobre l'ús d'aquests equips.

Taula 5.- Descripció dels equips existents juntament amb la seva potència.

Ubicació	Tipus consum	Descripció	Quantitat	Potència unitària (W)	Potència total (W)	Simultaneïtat i utilització	Potència corregida (W)
Nau 1 - Projecte 2002	Il·luminació	Làmpada 1 tub fluorescent	26	58	1508	0,5	754
	Sistema refrigeració	Motor ventilació	8	730	5840	0,7	4088
	Sistema d'alimentació	Motor d'alimentació porcina	4	1104	4416	0,4	1766,4
Nau 2 – Projecte Reforma 1998	Il·luminació	Làmpada 1 tub fluorescent	14	18	252	0,5	126
	Sistema refrigeració	Motor ventilació	4	730	2920	0,7	2044
	Sistema d'alimentació	Motor d'alimentació porcina	2	736	1472	0,4	588,8
Nau 3 - Antiga	Il·luminació	Làmpada 1 tub fluorescent	20	36	720	0,5	360
	Sistema refrigeració	Motor ventilació	5	730	3650	0,7	2555
	Sistema d'alimentació	Motor d'alimentació porcina 1	2	368	736	0,4	294,4
		Motor d'alimentació porcina 2	1	736	736	0,4	294,4
Nau 4 - Projecte 2000	Il·luminació	Làmpada 2 tubs fluorescents	16	36	576	0,5	288
	Sistema refrigeració	Motor ventilació progressiu 230V	9	736	6624	0,7	4636,8
	Sistema d'alimentació	Motor d'alimentació	3	736	2208	0,4	883,2
Altres	Caldera	Motor caldera biomassa	1	736	736	1	736
	Instal·lació d'aigua	Bomba 1	1	3700	3700	0,3	1110
	Màquina neteja	Màquina neteja	1	3500	3500	0,1	350
TOTAL					39594		20875

L'explotació ramadera inclou diferents circuits d'il·luminació, sistemes de ventilació, motors per alimentar les tolves, una caldera de biomassa que es nodreix d'electricitat per encendre el cremador i una instal·lació per bombejar aigua potable a un dipòsit que a posteriori, mitjançant gravetat, subministrarà aigua a la granja. Per altra banda, el sistema per evacuar purins i traslladar-los a les basses funciona íntegrament per gravetat. La informació recollida es mostra detallada en la Taula 5.

La Figura 12 i la Figura 13 mostren, respectivament, la potència total i corregida amb els coeficients de simultaneïtat i utilització que consumeix la instal·lació dividida en tipologies.

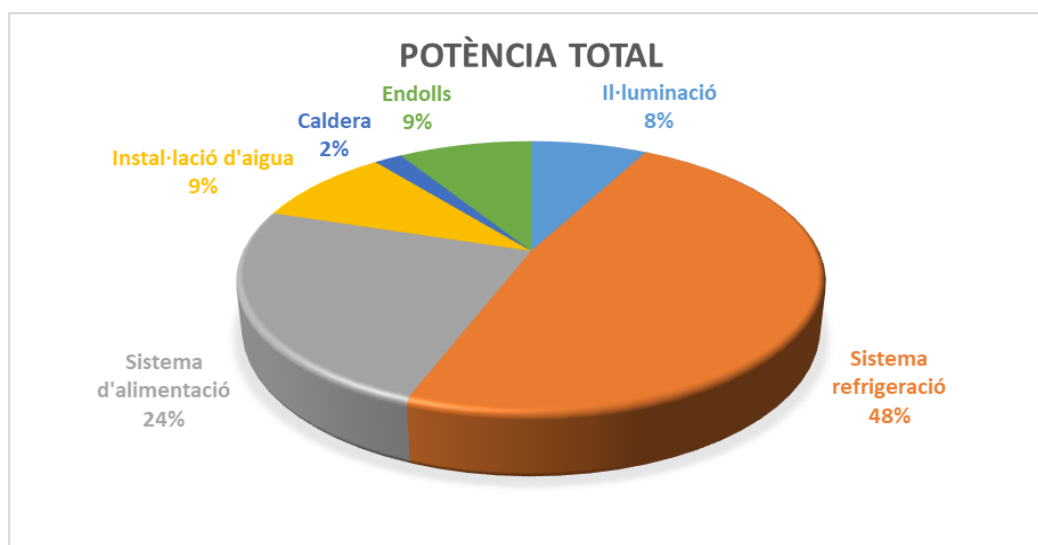


Figura 12.- Potència total de la instal·lació, dividida en tipologies.

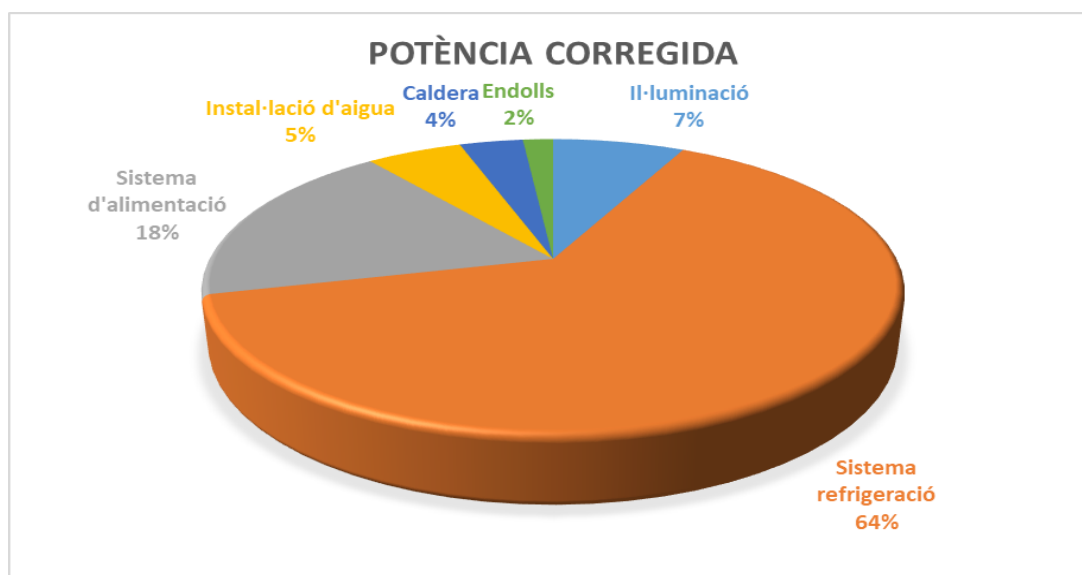


Figura 13.- Potència total corregida de la instal·lació, dividida en tipologies.

Un cop obtinguda la potència activa corregida, s'ha d'aplicar la correcció del factor de potència perquè la potència reactiva també s'ha de tenir en compte. L'Equació 3 extreu la potència total corregida.

$$P_{tot} = \frac{P_{activa}}{\cos(\varphi)} = \frac{20875 \text{ W}}{0,95} = 21973,68 \text{ VA}$$

Equació 3.- Càlcul potència corregida total.

A partir de la potència necessària de l'explotació, s'ha procedit a determinar el nombre d'inversors carregadors requerits per cobrir en tot moment el consum elèctric de la instal·lació. Els inversors híbrids que s'instal·laran són els Multiplus inverter/charger 5 kVA del fabricant Victron Energy. Les potències d'aquest inversor estan especificades en la Taula 6.

Taula 6.- Potències dels inversors híbrids.

Potències de l'inversor Victron Multiplus inverter/charger 5 kVA	
Potència contínua @ 25°C (crest factor)	5000 VA
Potència contínua @ 25°C	4000 W
Potència contínua @ 40°C	3700 W
Potència contínua @ 65°C	3000 W
Potència de pic	10000 W

L'Equació 4 mostra el càlcul d'inversors necessaris:

$$\text{Nombre d'inversors híbrids} = \frac{P_{necessària}}{P_{inversor}} = \frac{21973,68 \text{ VA}}{3700 \text{ VA/inversor}} = 5,939 \approx 6$$

Equació 4.- Càlcul dels inversors híbrids necessaris.

S'instal·laran 6 inversors híbrids, un nombre ideal perquè ajudarà a mantenir la compensació entre les tres fases. S'ha utilitzat la potència contínua registrada a 40°C, ja que es considera que serà la màxima temperatura que l'equip d'inversors haurà de suportar. Per tant, com que la sortida dels inversors és monofàsica, s'agrupen en dos grups de tres inversors. La distribució d'inversors híbrids és la mostrada en la Taula 7.

Taula 7.- Distribució dels inversors híbrids.

Distribució d'inversors híbrids Victron Multiplus inverter/charger 5 kVA	
Nombre total d'inversors híbrids	6 unitats
Nombre d'inversors híbrids per fase	2 unitats
Potència total necessària	21973,68 VA
Potència total suportada pels inversors	30000 VA

4.2.1.2. Configuració dels inversors de xarxa

Abans de realitzar el dimensionat dels mòduls fotovoltaics, es calcula quants d'aquests podria sostenir cada una de les entrades de l'inversor de xarxa utilitzat. Si es col·loquen en sèrie, la potència generada se suma i si es fa en paral·lel se sumen les intensitats. A més, també s'ha de tenir en compte els voltatges i intensitats de sortida de les plaques solars i les temperatures màximes i mínimes que aquests poden suportar, que aproximadament seran 20°C superiors a les temperatures ambientals màximes i mínimes.

Les dades tècniques que s'utilitzaran dels corresponents components es mostren en la Taula 8, la Taula 9 i la Taula 10.

Taula 8.- Dades de sortida del mòdul fotovoltaic escollit.

Dades tècniques sortida panell fotovoltaic ATERSA A-270P	
Potència nominal (Pn)	270 Wp
Voltatge màxima potència (Vmp)	31,88 V
Voltatge circuit obert (Voc)	38,30 V
Intensitat màxima potència (Imp)	8,47 A
Intensitat curtcircuit (Isc)	9,07 A
Coeficient de temperatura de V (β)	-0,32 %/°C
Coeficient de temperatura de I (α)	0,04 %/°C

Taula 9.- Dades d'entrada de l'inversor de xarxa seleccionat.

Dades tècniques entrada de l'inversor de xarxa FRONIUS SYMO 15.0-3-M	
Voltatge màxim (Vmax)	1000 V
Voltatge d'arrencada (Vstart)	200 V
Intensitat màxima potència (Imp)	33,0 A
Intensitat de curtcircuit (Isc)	49,5 A

Taula 10.- Restriccions de temperatura del panell fotovoltaic escollit.

Temperatura màxima mòdul fotovoltaic (Tmax)	60 °C
Temperatura mínima mòdul fotovoltaic (Tmin)	-20 °C

A partir de les dades indicades anteriorment, es calcula el nombre de panells per cada línia seguint l'Equació 5:

$$\text{Nombre màxim per línia} = \frac{V_{\text{màx entrada inversor}}}{V_{\text{oc sortida panell}}}$$

Equació 5.- Expressió per calcular el màxim de panells en sèrie.

En la tensió de sortida del panell, s'ha tingut en compte la incidència que provoca el canvi de la temperatura en el voltatge, com es mostra a l'Equació 6.

$$\begin{aligned} V_{oc}(-20^{\circ}\text{C}) &= V_{oc}(25^{\circ}\text{C}) + \Delta T \cdot \alpha \cdot V_{oc}(25^{\circ}\text{C}) \\ &= 38,30 \text{ V} + (-20^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}) \cdot \left(-0,32 \frac{\%}{^{\circ}\text{C}}\right) \cdot 38,30 \text{ V} = 43,815 \text{ V} \end{aligned}$$

Equació 6.- Càlcul de la màxima tensió de sortida del panell.

En conseqüència:

$$\text{Nombre màxim per línia} = \frac{V_{\text{màx entrada inversor}}}{V_{\text{oc sortida panell}}} = \frac{900 \text{ V}}{43,815 \text{ V}} = 22,823 \approx 22 \text{ panells}$$

Equació 7.- Nombre màxim de panells solars en sèrie.

De la mateixa manera, es calcula quin és el nombre màxim de línies en paral·lel que l'inversor pot sostenir. L'Equació 8 mostra com s'obté aquest nombre.

$$\text{Nombre màxim línies en paral·lel} = \frac{I_{\text{màx entrada inversor}}}{I_{\text{sc sortida panell}}}$$

Equació 8.- Expressió per calcular el màxim nombre de línies en paral·lel.

En aquest cas també es considera la incidència de la temperatura sobre el corrent, com mostra l'Equació 9.

$$I_{sc}(60^{\circ}\text{C}) = I_{sc}(25^{\circ}\text{C}) + \Delta T \cdot \beta \cdot I_{sc}(25^{\circ}\text{C}) = 9,07\text{A} + (60^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}) \cdot \left(0,04 \frac{\%}{^{\circ}\text{C}}\right) \cdot 9,07\text{A} \\ = 9,197\text{ A}$$

Equació 9.- Càlcul del màxim corrent de sortida del panell.

En conseqüència,

$$Nmàx \text{ de línies} = \frac{I_{màx \text{ entrada inversor}}}{I_{sc \text{ sortida panell}}} = \frac{33\text{ A}}{9,197\text{ A}} = 3,588 \approx 3 \text{ línies}$$

Equació 10.- Nombre màxim de línies de panells en paral·lel.

A partir d'aquests càlculs, es proposa un dimensionat de plaques per cada inversor de xarxa que optimitzi la combinació entre el mínim desaprofitament de l'energia produïda i màxima cobertura del consum mensual. Per fer-ho, es té en compte les pèrdues energètiques dels panells calculades amb l'eina web PVGIS, de la Comissió Europea [2][3]. Tenint en compte que la potència màxima d'entrada de l'inversor és de 22500 VA, la Taula 11 mostra la configuració proposada.

Taula 11.- Configuració de panells que minimitza el desaprofitament d'energia produïda.

Configuració proposada		
Nombre de panells en sèrie	22	u
Nombre de sèries en paral·lel	3	u
Nombre de panells per inversor	66	u
Potència unitària panell	270	Wp
Potència total panells	17,820	kWp
Pèrdues temperatura i baixa radiació	7,7	%
Pèrdues reflectància angular	2,6	%
Pèrdues possibles brutícia i ombres	2	%
Potència entrada inversor	15,628	kVA

Un cop escollida la configuració, s'ha realitzat una sèrie de comprovacions exposades en la Taula 12.

Taula 12.- Comprovació dels valors assolibles en condicions extremes.

Comprovació	
Voltatge màxim (Vmax)	963,93 V
Voltatge d'arrencada (Vstart)	748,23 V
Intensitat màxima potència (Imp)	25,77 A
Intensitat curtcircuit (Isc)	27,59 A

4.2.1.3. Dimensionat dels panells fotovoltaics

Taula 13.- Aproximació de consums mitjans mensuals.

	Consum 2011 (kWh)	Consum 2012 (kWh)	Consum 2016 (kWh)	Consum 2017 (kWh)	Consum mensual mitjà (kWh)	Dies	Consum diari (kWh)	Relació sobre consum màxim (%)
Gener		3904		3798	3851	31	124,226	27,187%
Febrer		3622		2467	3044,5	28	108,732	23,796%
Març		3905		3931	3918	31	126,387	27,660%
Abril		3880		3723	3801,5	30	126,717	27,732%
Maig		4899		7542	6220,5	31	200,661	43,915%
Juny			7133	7860	7496,5	30	249,883	54,687%
Juliol	14165				14165	31	456,935	100,000%
Agost	8212		14031	7521	10776	31	347,613	76,075%
Setembre	8691		4452		6571,5	30	219,050	47,939%
Octubre	7234		4195		5714,5	31	184,339	40,342%
Novembre	5031		2704		3867,5	30	128,917	28,213%
Desembre	3907		2546		3226,5	31	104,081	22,778%
					6054,417		198,128	43,360%

A través de la recollida de factures d'anys i mesos anteriors, juntament amb la previsió d'equips i la temporització del seu ús, s'ha realitzat una aproximació de l'energia necessària durant tot l'any. Es mostra aquesta previsió en la Taula 13.

Pel dimensionat dels panells fotovoltaics, s'ha considerat un azimuth de 12° en ambdós naus on es col·locaran els panells fotovoltaics. Aquesta magnitud mostra la inclinació d'una placa respecte l'eix nord-sud geològic terrestre. Per altra banda, s'ha estimat unes pèrdues del 24%, que es troben desglossades en la Taula 14.

Taula 14.- Desglossament del percentatge de pèrdues.

	Pèrdues (%)
Temperatura i baixa radiació (PVGIS)	7,7
Angle d'incidència (PVGIS)	2,6
Efectes espectrals (PVGIS)	0,7
Cablejat	2
Possibles ombres i brutícia	2
Bateries i el seu cablejat	2
Inversors híbrids	3
Inversors de xarxa	4
TOTAL	24

A continuació, mitjançant el programari virtual PVGIS, que agafa dades des del 2007 fins el 2016, s'ha estudiat la radiació solar en la localització de la instal·lació. Per realitzar l'estudi, s'ha indicat les pèrdues del sistema, un azimuth de 12° , per l'orientació de les naus on es volen col·locar les plaques, i la inclinació òptima de les plaques, la qual ha estat calculada automàticament pel programa. Les dades obtingudes s'indiquen a la Taula 15 i es mostra una representació gràfica a la Figura 14.

Taula 15.- Estudi de la irradiació solar, on HSPN són les hores solars pic netes.

	Azimet=12°	Inclinació=Òptima (36°)		$\eta=76\%$
	HSPN diàries (h/dia)	HSPN mensuals (h/mes)	Hores solars brutes diàries (h/dia)	Hores solars brutes mensuals (h/mes)
Gener	2,33	72,22	3,07	95,03
Febrer	3,57	101,00	4,70	132,9
Març	4,48	138,78	5,89	182,6
Abril	4,58	137,41	6,03	180,8
Maig	5,05	156,48	6,64	205,9
Juny	5,30	159,07	6,98	209,3
Juliol	5,48	169,94	7,21	223,6
Agost	5,30	164,39	6,98	216,3
Setembre	4,73	141,89	6,22	186,7
Octubre	3,83	118,86	5,05	156,4
Novembre	2,81	84,42	3,70	111,08
Desembre	2,15	66,57	2,83	87,59
MITJANA	4,13	125,92	5,44	165,68
TOTAL	1511,03		1988,20	

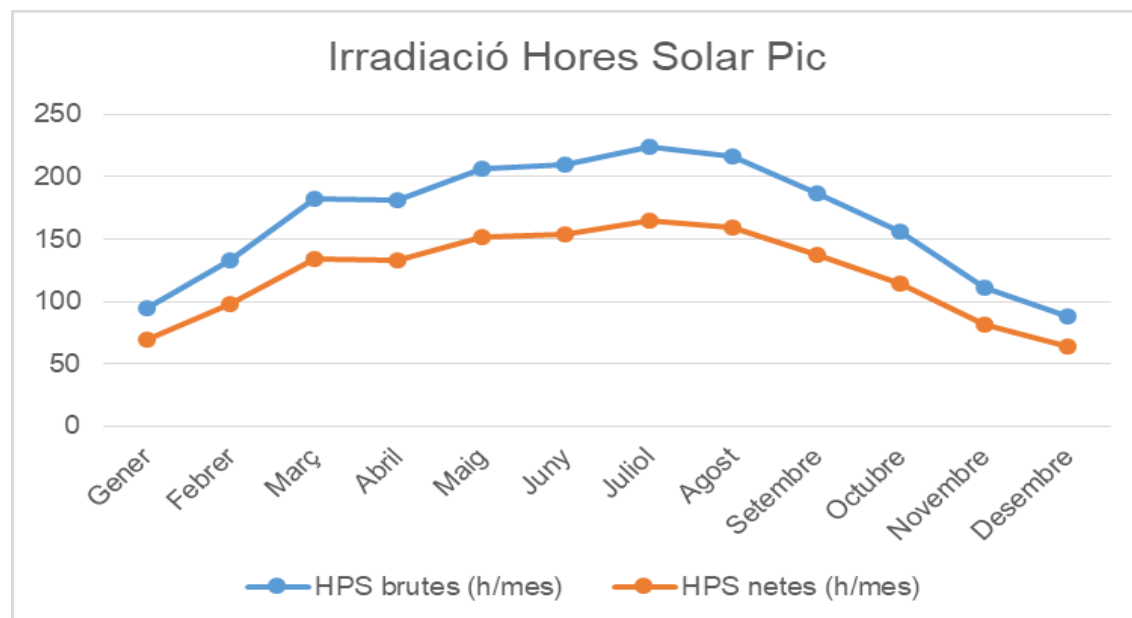


Figura 14.- Representació de la irradiació solar mitjana mensual.

Seguidament, un cop es coneix la irradiació que poden arribar a rebre les plaques, s'ha procedit a realitzar el dimensionat de la instal·lació. Per fer-ho, s'ha partit de la configuració òptima de l'inversor de xarxa, la qual inclou 3 línies de 22 mòduls fotovoltaics. D'aquesta manera, sabent que cada inversor comporta 66 mòduls, es calcula el nombre necessari d'inversors i, en conseqüència, el nombre de plaques. Els criteris per escollir la configuració d'inversors de xarxa han estat els següents:

1. Màxima cobertura possible del consum elèctric mensual mitjançant la generació d'electricitat.
2. Mínima despesa econòmica per realitzar el projecte.
3. Mínim desaprofitament possible d'energia generada mensual pels mòduls fotovoltaics.
4. Intentar que el dimensionat de panells fotovoltaics sigui el més petit possible.

En cap dels dos casos s'ha optat per cobrir la totalitat d'energia consumida mitjançant la generació fotovoltaica, ja que això provocava un gran desaprofitament d'energia i, en conseqüència, augmentava de forma poc raonable el cost del projecte.

S'ha decidit utilitzar dos inversors, resultant ser la configuració obtinguda amb la òptima inclinació la mostrada en la Taula 16.

Taula 16.- Configuració de generació fotovoltaica amb 2 inversors Fronius SYMO 15.0-3-M.

	Azimut=12°	Inclinació=Òptima (36°)		$\eta=76\%$	P=35,64 kVA
	Consum diari mitjà (kWh/dia)	HSPN (h/dia)	Generació fotovoltaica (kWh/dia)	% Cobertura	% Energia desaprofitada
Gener	124,23	2,33	88,90	71,56%	0,00%
Febrer	108,73	3,57	137,00	100,00%	26,00%
Març	126,39	4,48	164,00	100,00%	29,76%
Abril	126,72	4,58	164,00	100,00%	29,42%
Maig	200,66	5,05	177,00	88,21%	0,00%
Juny	249,88	5,30	181,00	72,43%	0,00%
Juliol	456,94	5,48	185,00	40,49%	0,00%
Agost	347,61	5,30	180,00	51,78%	0,00%
Setembre	219,05	4,73	164,00	74,87%	0,00%
Octubre	184,34	3,83	137,00	74,32%	0,00%
Novembre	128,92	2,81	106,00	82,22%	0,00%
Desembre	104,08	2,15	82,00	78,79%	0,00%
MITJANA	198,13	4,13	147,16	74,27%	7,10%

Per tant, la configuració dels inversors de xarxa acaba sent la mostrada a la Taula 17.

Taula 17.- Configuració d'inversors de xarxa i potència total instal·lada.

Inversors xarxa (ud)	2
Nombre de mòduls per inversor (ud)	66
Nombre de mòduls total (ud)	132
Potència mòdul (Wp)	270
Potència planta FV (Wp)	35640

4.2.1.4. Optimització de la inclinació dels panells

Com que es parteix de la situació de tenir superfícies amb una inclinació de 18° i la inclinació dels escaires utilitzats és de 5° , les combinacions d'inclinació possibles hauran de ser múltiples d'aquests. És a dir, només es podran obtenir les configuracions 18° , $18^\circ+5^\circ$, $18^\circ+10^\circ$, $18^\circ+15^\circ$... A partir d'aquí, el criteri utilitzat per escollir la configuració ha estat maximitzar la cobertura amb energia fotovoltaica mensual i minimitzar el desaprofitament mensual d'aquesta. És a dir, interessa garantir abans una cobertura total en mesos d'hivern que una generació anual més gran (inclinació òptima segons PVGIS), ja que aquesta producció es concentrarà probablement en mesos d'estiu i no hi haurà forma d'emmagatzemar-la.

En la Taula 18, la Taula 19 i la Taula 20 es mostren les tres configuracions més pròximes a la configuració ideal inicialment mostrada pel programa PVGIS.

Taula 18.- Configuració de generació fotovoltaica amb 2 inversors Fronius SYMO 15.0-3-M amb 33° d'inclinació.

	Azimut= 12°	Inclinació= $18^\circ+15^\circ=33^\circ$		$\eta=76\%$	P=35,64 kVA
	Consum diari mitjà (kWh/dia)	HSPN (h/dia)	Generació fotovoltaica (kWh/dia)	% Cobertura	% Energia desaprofitada
Gener	124,23	2,26	86,90	69,95%	0,00%
Febrer	108,73	3,53	134,00	100,00%	23,24%
Març	126,39	4,40	162,00	100,00%	28,18%
Abril	126,72	4,60	165,00	100,00%	30,21%
Maig	200,66	4,59	179,00	89,21%	0,00%
Juny	249,88	5,11	184,00	73,63%	0,00%
198Juliol	456,94	5,39	188,00	41,14%	0,00%
Agost	347,61	5,58	181,00	52,07%	0,00%
Setembre	219,05	4,69	163,00	74,41%	0,00%
Octubre	184,34	3,75	136,00	73,78%	0,00%
Novembre	128,92	2,74	104,00	80,67%	0,00%
Desembre	104,08	2,07	79,80	76,67%	0,00%
MITJANA	198,13	4,12	146,89	74,14%	6,80%

Taula 19.- Configuració de generació fotovoltaica amb 2 inversors Fronius SYMO 15.0-3-M amb 38° d'inclinació.

	Azimut=12°	Inclinació=18°+20°=38°	$\eta=76\%$	P=35,64 kVA
	Consum diari mitjà (kWh/dia)	HSPN (h/dia)	Generació fotovoltaica (kWh/dia)	% Cobertura % Energia desaprofitada
Gener	124,23	2,34	90,30	72,69%
Febrer	108,73	3,63	138,00	100,00%
Març	126,39	4,45	164,00	100,00%
Abril	126,72	4,55	163,00	100,00%
Maig	200,66	4,99	175,00	87,21%
Juny	249,88	5,23	179,00	71,63%
Juliol	456,94	5,43	183,00	40,05%
Agost	347,61	5,27	179,00	51,49%
Setembre	219,05	4,71	164,00	74,87%
Octubre	184,34	3,85	139,00	75,40%
Novembre	128,92	2,83	108,00	83,78%
Desembre	104,08	2,17	83,50	80,23%
MITJANA	198,13	4,12	147,15	74,27%

Taula 20.- Configuració de generació fotovoltaica amb 2 inversors Fronius SYMO 15.0-3-M amb 43° d'inclinació.

	Azimut=12°	Inclinació=18°+25°=43°	$\eta=75,9\%$	P=35,64 kVA
	Consum diari mitjà (kWh/dia)	HSPN (h/dia)	Generació fotovoltaica (kWh/dia)	% Cobertura % Energia desaprofitada
Gener	124,23	2,41	93,10	74,94%
Febrer	108,73	3,71	141,00	100,00%
Març	126,39	4,46	165,00	100,00%
Abril	126,72	4,49	161,00	100,00%
Maig	200,66	4,85	170,00	84,72%
Juny	249,88	5,03	172,00	68,83%
Juliol	456,94	5,24	177,00	38,74%
Agost	347,61	5,17	175,00	50,34%
Setembre	219,05	4,70	164,00	74,87%
Octubre	184,34	3,90	141,00	76,49%
Novembre	128,92	2,92	111,00	86,10%
Desembre	104,08	2,24	86,60	83,20%
MITJANA	198,13	4,09	146,39	73,89%

Finalment, s'opta per proposar la inclinació mostrada en la Taula 21.

Taula 21.- Inclinació òptima dels panells fotovoltaics.

Inclinació de la coberta (°)	18
Inclinació dels escaires (°)	20
Inclinació total (°)	38
Cobertura mitjana anual (%)	74,27
Desaprofitament d'energia mitjana anual (%)	7,11

4.2.1.5. Distribució de panells fotovoltaics

Per tal de dur a terme la distribució dels panells fotovoltaics entre els sostres de les naus seleccionades, cal tenir en consideració les dimensions, tant dels panells com de les superfícies, l'orientació dels panells (horitzontal o vertical) i les inclinacions que aquests presenten, ja que poden provocar ombres sobre els altres. La Taula 22 mostra les dimensions de les diferents naus de la granja. La Taula 23 mostra les característiques dels mòduls fotovoltaics.

Taula 22.- Dimensions i mesures de les naus de l'explotació porcina.

	Dimensions cobertes			
	Nau 1	Nau 2	Nau 3	Nau 4
Inclinació (°)	18	16,7	???	18
Llargada (m)	101,15	70	101	53,75
Amplada (m)	7,32	3,8	???	6,27
Projecció horitzontal amplada (m)	6,96	3,64	3,25	5,96
Superfície útil de coberta (m²)	740,42	266	???	337,01
Azimut (°)	12	-7	5	12

Taula 23.- Dimensions i mesures dels mòduls fotovoltaics.

Dimensions panells	
Llargada (mm)	990
Amplada (mm)	1645
Gruix (mm)	40
Superfície (m²)	1,6285

Els mòduls s'ubicaran sobre les cobertes sud de les naus 1 i 4, ja que les cobertes són més extenses i llargues. A més, les plaques han de guardar un espai prudencial entre si degut a l'expansió tèrmica i les toleràncies que el fabricant indica. La distància mínima de separació, tal com indica la fitxa tècnica del mòdul fotovoltaic, és de 2 cm.

Per tal de calcular les distàncies de separació tenint en compte les ombres provocades,

s'ha utilitzat l'expressió de l'Equació 11 ja que modelitza la situació plantejada en la Figura 15.

$$d = 1,25 \cdot (d_1 + d_2) = 1,25 \cdot L \cdot \left(\frac{\sin(\alpha - i)}{\tan(h + i)} + \cos(\alpha - i) \right)$$

Equació 11.- Expressió per calcular separació mínima entre plaques en cas d'ombres i superfície inclinada.

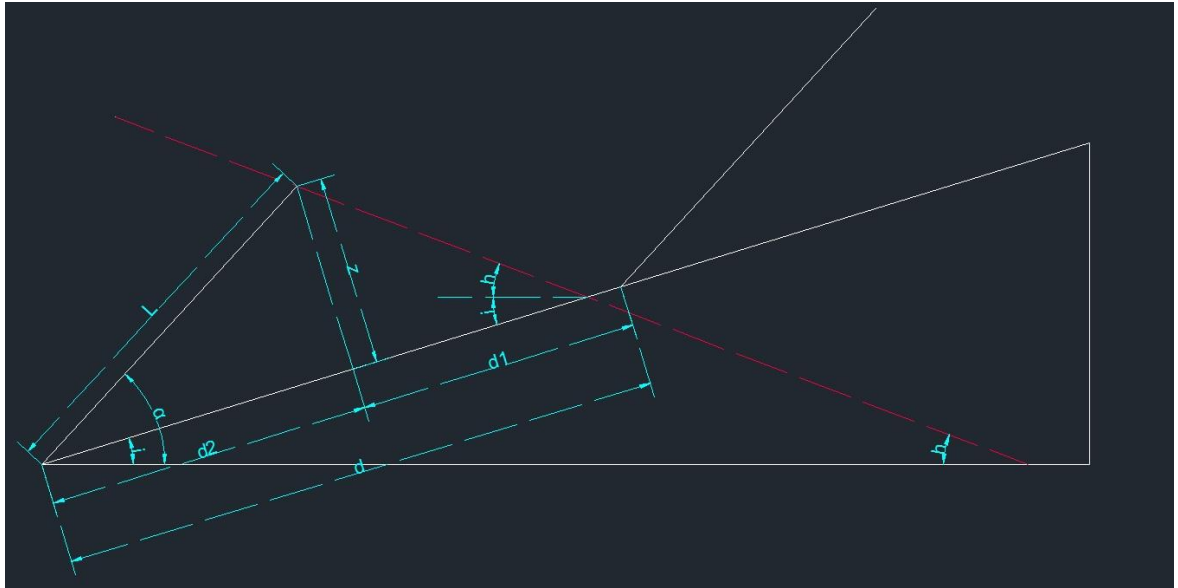


Figura 15.- Representació geomètrica per calcular les distància de separació deguda a possibles ombres.

sent:

1,25 un coeficient de sobredimensionament

L la longitud de la placa

α la inclinació de la placa respecte la horitzontal

i la inclinació de la coberta

d la distància mínima entre plaques, on **d₂** és la projecció sobre el pla de la coberta de la longitud del mòdul i **d₁** la distància des d'acabar aquesta projecció fins l'inici de la següent filera.

h l'altura solar el dia més desfavorable (21 de desembre), ja que en ser més baixa que altres dies de l'any provoca una projecció d'ombres major. Es mostra l'expressió del seu càlcul a l'Equació 12.

$$h = 90^\circ - \phi + \delta = 90^\circ - 41,757^\circ - 23,45^\circ = 24,793^\circ$$

Equació 12.- Càlcul de l'altura del Sol el dia més desfavorable.

on:

ϕ la latitud de l'ubicació seleccionada

δ la declinació solar, sent $-23,5^\circ$ el dia 21 de desembre

Un cop calculada l'altura es procedeix calculant la distància mínima que s'hauria de salvar col·locant els mòduls solars en posició vertical. És a dir, considerant l'amplada com a longitud de la placa. Els càlculs es mostren en l'Equació 13.

$$d_{v1} = L \cdot \left(\frac{\sin(\alpha - i)}{\tan(h + i)} \right) = 1,645 \cdot \left(\frac{\sin(33^\circ - 18^\circ)}{\tan(24,793^\circ + 18^\circ)} \right) = 0,460 \text{ m}$$

$$d_{v2} = L \cdot \cos(\alpha - i) = 1,645 \cdot \cos(33^\circ - 18^\circ) = 1,589 \text{ m}$$

$$d_v = 1,25 \cdot (d_{v1} + d_{v2}) = 2,561 \text{ m}$$

Equació 13.- Càlcul distància mínima dels mòduls en posició vertical.

Per altra banda, es calcula la distància mínima col·locant els mòduls en posició horitzontal. És a dir, considerant la llargada com a longitud de la placa. Els càlculs corresponents es mostren a l'Equació 14.

$$d_{h1} = L \cdot \left(\frac{\sin(\alpha - i)}{\tan(h + i)} \right) = 0,990 \cdot \left(\frac{\sin(33^\circ - 18^\circ)}{\tan(24,793^\circ + 18^\circ)} \right) = 0,277 \text{ m}$$

$$d_{h2} = L \cdot \cos(\alpha - i) = 0,990 \cdot \cos(33^\circ - 18^\circ) = 0,956 \text{ m}$$

$$d_h = 1,25 \cdot (d_{h1} + d_{h2}) = 1,541 \text{ m}$$

Equació 14.- Càlcul distància mínima dels mòduls en posició horitzontal.

Com que s'observa que la distància col·locant els panells en posició horitzontal és menor, s'opta per aquesta configuració. Per tant, es comença calculant quants mòduls cabrien en posició horitzontal al llarg de la coberta de la nau 1. Això es mostra a l'Equació 15.

$$\text{Nombre plaques en una fila} = \frac{\text{Llargada nau 1}}{(\text{Amplada panell} + \text{Marge } \Delta x)} = \frac{101,15}{(1,645 + 0,02)} = 60,75$$

$\approx 60 \text{ panells}$

Equació 15.- Expressió que mostra quants mòduls es poden col·locar per fila en la nau 1.

Malgrat el resultat sigui d'unes 60 plaques per fila, es considera millor col·locar-ne solament 44, ja que, com que els inversors només suporten l'entrada de 22 plaques en sèrie, utilitzar distribucions amb número de plaques múltiples d'aquest nombre ajudarà a reduir metres de cablejat i estalviarà costos.

A continuació, es realitza el càlcul per comprovar si es poden col·locar les 3 files de mòduls necessaris sobre la coberta de la nau 1. L'Equació 16 mostra aquesta comprovació.

$$3 \text{ files} \rightarrow 2 \cdot d_h + d_{h2} = 2 \cdot 1,541 + 0,956 = 4,038 \text{ m} \leq 7,32 \text{ m}$$

Equació 16.- Comprovació del nombre de files sobre la coberta de la nau 1.

L'Equació 17 mostra que, amb la configuració calculada, ja s'assoleix el nombre de mòduls suficients per cobrir la demanda de l'explotació i no es necessari situar cap panell sobre la coberta d'alguna altra nau.

$$\text{Nombre panells instal·lats} = 44 \frac{\text{panells}}{\text{fila}} \cdot 3 \frac{\text{files}}{\text{coberta}} = 132 \frac{\text{panells}}{\text{coberta}}$$

Equació 17.- Comprovació nombre de mòduls fotovoltaics instal·lats.

En conseqüència, la distribució de panells acaba quedant com mostra la Taula 24.

Taula 24.- Distribució resultant de panells fotovoltaics sobre la nau 1.

Distribució plaques per fila		Distribució files per coberta	
Nombre de panells (ud)	44	Nombre total de files (ud)	3
Nombre de sèries (ud)	2	Col·locació dels panells	Horitzontal
Amplada panells (m)	1,645	Distància entre files (m)	1,541
Separació entre panells (m)	0,02	Plaques per coberta (ud)	132
Carrils manteniment (m)	2	Sèries per coberta (ud)	6
Nombre de carrils mant. (ud)	1	Distància total utilitzada (m)	4,038
Distància utilitzada (m)	73,24	Distància disponible (m)	7,32

Distància disponible (m)	101,15	Distància excedent (m)	3,282
Distància excedent (m)	25,91	Marge extrem inferior (m)	1,282
Marge per cada banda (m)	12,955	Marge extrem superior (m)	2

4.2.1.6. Dimensionat de les bateries

El primer pas per poder aconseguir el dimensionat de les bateries és obtenir una bona aproximació de la corba diària de càrrega dels consums elèctrics de l'explotació porcina. Això s'aconsegueix tenint en compte les potències dels aparells instal·lats i els seus corresponents horaris d'utilització i, en aquest cas, com no es tenien suficients dades, consultant amb l'empresa Gascan Solar Tècnics SL per l'obtenció d'informació d'explotacions ramaderes similars. La Taula 25 mostra aquesta aproximació.

Taula 25.- Corba diària mitjana de càrrega dels consums elèctrics de la granja per mes.

	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00
Gener	4,43	4,23	3,99	3,95	3,83	3,75	3,71	3,79	4,35	4,96	5,00	5,40	5,68
Febrer	3,89	3,72	3,51	3,46	3,37	3,28	3,25	3,34	3,80	4,33	4,36	4,73	4,97
Març	4,17	4,09	3,83	3,53	3,38	3,50	3,65	3,87	4,50	5,10	5,69	6,10	6,43
Abril	6,62	6,46	6,05	5,59	5,39	5,54	5,80	6,10	7,13	8,10	9,03	9,64	10,21
Maig	8,27	8,05	7,53	6,93	6,71	6,86	7,23	7,60	8,87	10,06	11,25	12,00	12,74
Juny	13,76	13,97	12,84	10,99	10,37	11,40	12,74	13,97	16,54	18,59	22,80	24,03	25,68
Juliol	10,43	10,63	9,79	8,31	7,92	8,70	9,66	10,56	12,56	14,17	17,39	18,29	19,52
Agost	6,57	6,69	6,18	5,27	4,99	5,50	6,06	6,69	7,88	8,90	10,94	11,50	12,30
Setembre	6,09	5,97	5,58	5,15	4,95	5,07	5,30	5,62	6,56	7,43	8,29	8,88	9,39
Octubre	4,24	4,17	3,88	3,59	3,47	3,56	3,72	3,95	4,59	5,20	5,81	6,19	6,55
Novembre	3,43	3,36	3,14	2,89	2,79	2,87	3,01	3,19	3,70	4,19	4,68	5,00	5,29
Desembre	7,12	6,77	6,42	6,30	6,13	5,95	5,95	6,07	6,94	7,93	7,93	8,63	9,04

	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	TOTAL
Gener	5,89	5,84	5,76	6,01	6,77	7,09	7,22	6,41	5,80	5,36	4,88	124,23
Febrer	5,17	5,11	5,05	5,26	5,92	6,21	6,30	5,63	5,08	4,70	4,27	108,73
Març	6,58	6,47	6,43	6,81	7,07	7,29	7,03	6,40	5,47	4,80	4,46	126,72
Abril	10,41	10,26	10,16	10,77	11,18	11,54	11,13	10,16	8,67	7,64	7,03	200,66
Maig	12,97	12,74	12,67	13,41	13,94	14,38	13,86	12,59	10,81	9,46	8,79	249,88
Juny	25,68	25,16	25,16	27,01	25,98	26,50	24,34	22,49	18,18	15,00	14,17	456,94
Juliol	19,52	19,13	19,13	20,48	19,71	20,16	18,49	17,13	13,78	11,40	10,76	347,61
Agost	12,30	12,07	12,01	12,92	12,47	12,69	11,67	10,82	8,67	7,20	6,74	219,05
Setembre	9,55	9,43	9,35	9,90	10,25	10,61	10,25	9,31	7,98	6,99	6,48	184,34
Octubre	6,68	6,58	6,55	6,90	7,16	7,41	7,16	6,52	5,58	4,91	4,53	128,92
Novembre	5,39	5,32	5,27	5,59	5,78	6,00	5,78	5,24	4,51	3,95	3,65	104,08
Desembre	9,39	9,33	9,22	9,57	10,79	11,32	11,49	10,27	9,28	8,58	7,76	198,13

A continuació, mitjançant el programari PVGIS, s'ha obtingut la generació mitjana entre 2007 i 2016 d'una planta de 36 kWp de potència instal·lada, amb panells fotovoltaics inclinats 38° i un azimut de 12°. Aquestes dades es mostren a la Taula 26.

Taula 26.- Generació diària mitjana distribuïda per hores (kWh).

	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	TOTAL
Gener	0,00	0,00	0,00	2,01	5,56	9,67	12,84	14,37	14,56	13,44	10,21	5,82	0,06	0,00	0,00	88,52
Febrer	0,00	0,00	0,04	3,71	8,83	14,11	18,12	20,36	21,00	19,71	15,71	9,86	3,42	0,00	0,00	134,88
Març	0,00	0,02	0,99	6,37	13,15	18,39	22,05	23,74	22,91	21,06	17,07	11,53	5,44	0,22	0,00	162,92
Abril	0,00	0,54	2,44	7,89	13,58	17,95	21,35	22,44	21,96	19,97	16,13	11,37	5,77	1,18	0,00	162,57
Maig	0,14	1,12	3,55	9,33	14,98	19,05	22,34	23,61	22,94	20,68	17,06	11,83	6,69	1,76	0,13	175,20
Juny	0,35	1,29	3,38	9,27	14,79	19,18	22,21	23,23	23,20	21,23	17,54	12,85	7,23	2,28	0,41	178,45
Juliol	0,19	1,04	2,77	8,62	14,42	19,08	22,44	24,06	23,96	22,15	18,78	13,94	8,38	2,66	0,38	182,89
Agost	0,00	0,83	2,40	8,35	14,28	19,04	22,09	23,99	23,90	22,20	18,52	13,31	7,48	1,80	0,08	178,26
Setembre	0,00	0,29	2,21	8,04	13,90	18,76	22,03	23,12	22,62	20,14	16,21	10,78	4,58	0,28	0,00	162,97
Octubre	0,00	0,00	1,47	6,36	11,86	16,56	19,54	20,60	20,38	17,82	13,60	7,39	1,13	0,00	0,00	136,72
Novembre	0,00	0,00	0,41	4,81	8,97	13,20	15,96	16,79	16,30	13,78	9,64	5,77	0,00	0,00	0,00	105,60
Desembre	0,00	0,00	0,00	3,33	6,03	9,86	12,31	13,64	13,38	11,47	7,64	4,00	0,00	0,00	0,00	81,66

La Figura 16, la Figura 17, la Figura 18 i la Figura 19 mostren una representació gràfica sobre l'aproximació dels consums elèctrics i la generació fotovoltaica durant cadascuna de les estacions de l'any, la qual s'ha calculat fent la mitjana dels mesos que en són més representatius.

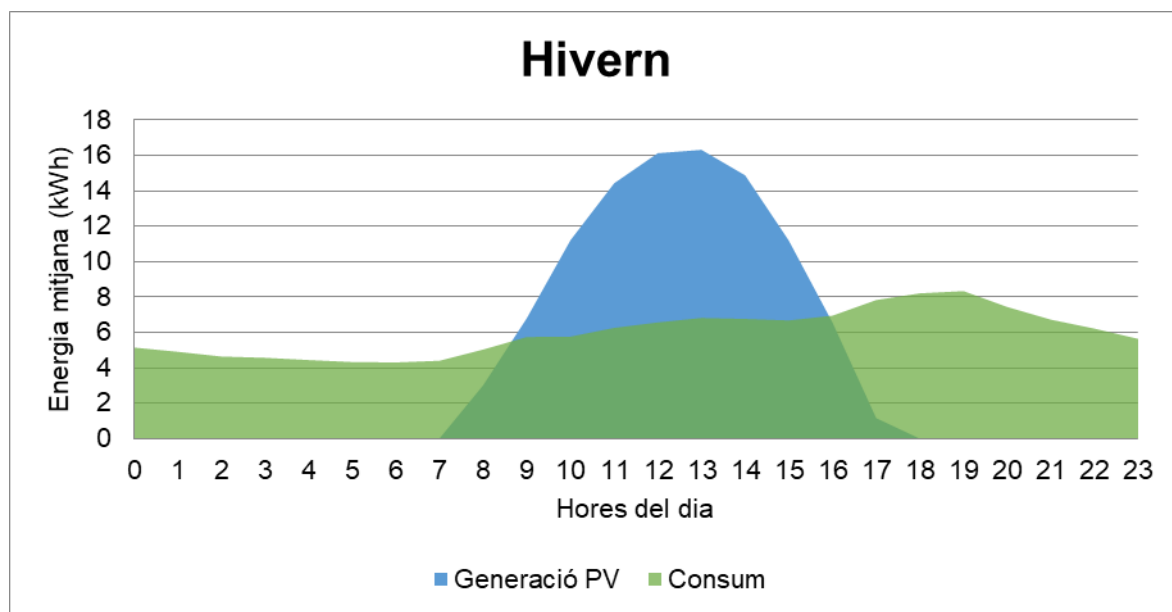


Figura 16.- Corba diària aproximada dels consums i la producció fotovoltaica durant els mesos d'hivern.

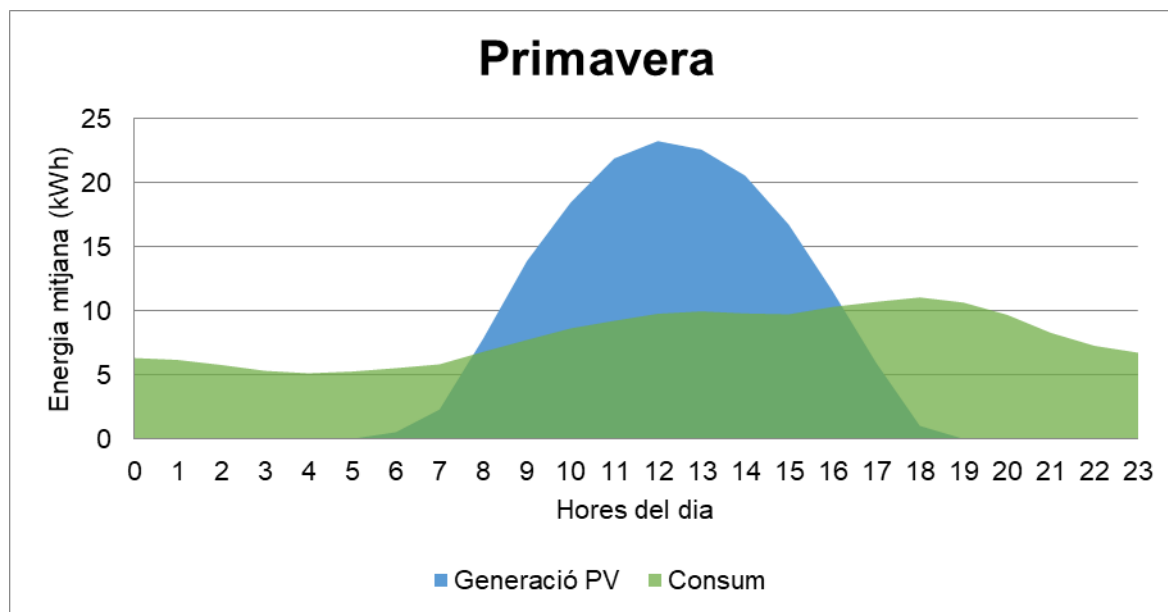


Figura 17.- Corba diària aproximada dels consums i la producció fotovoltaica durant els mesos de primavera.

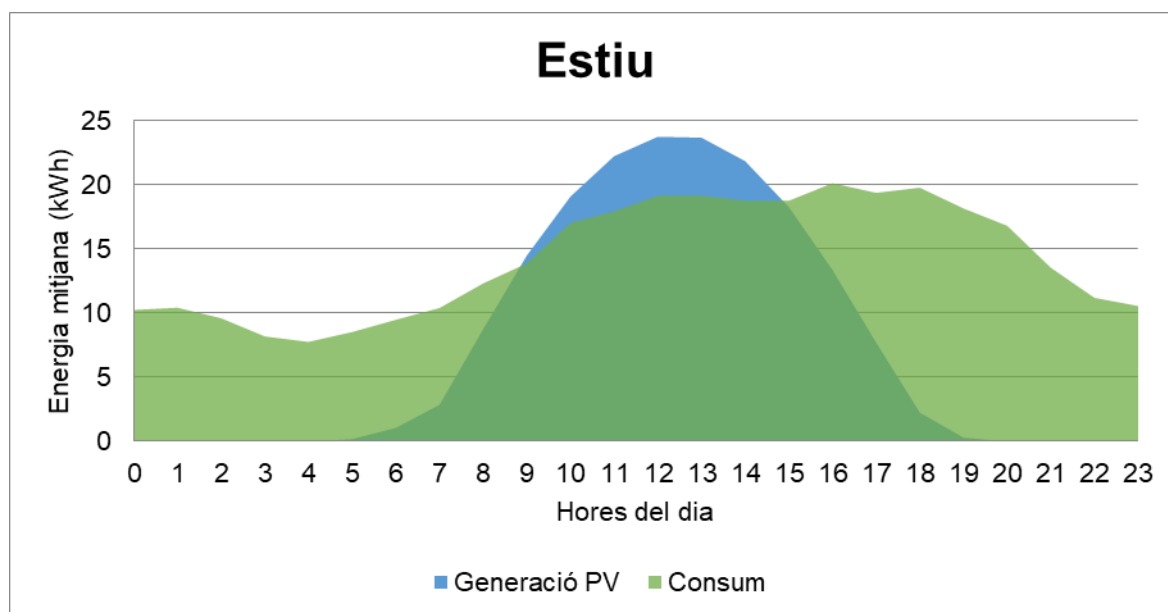


Figura 18.- Corba diària aproximada dels consums i la producció fotovoltaica durant els mesos d'estiu.

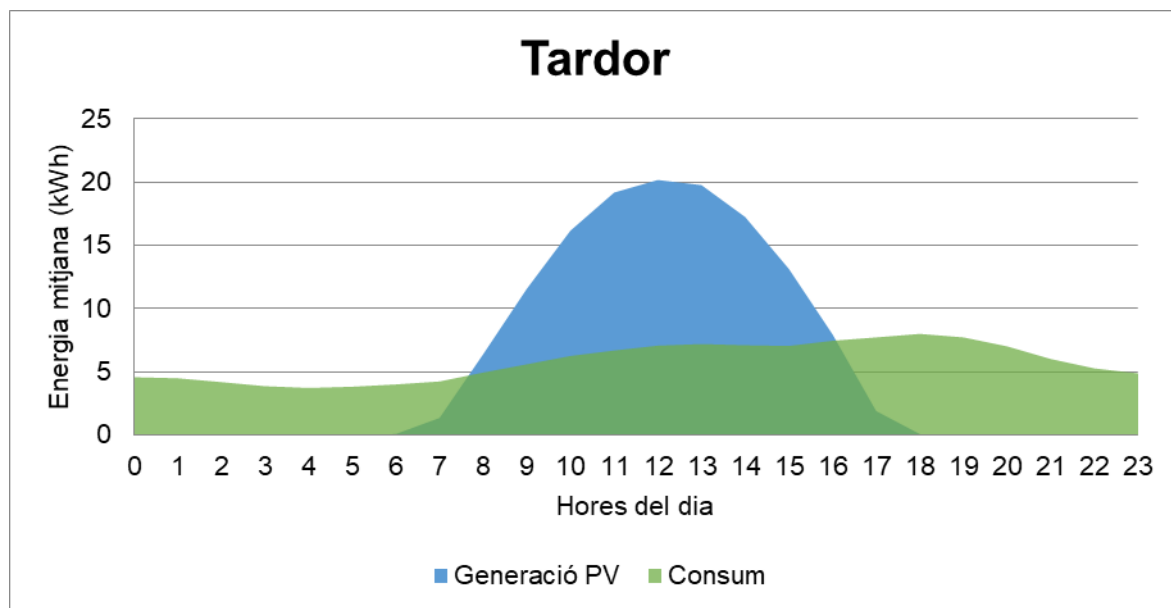


Figura 19.- Corba diària aproximada dels consums i la producció fotovoltaica durant els mesos de tardor.

A partir de les dades exposades anteriorment, s'ha calculat l'autoconsum directe d'energia fotovoltaica. És a dir, l'energia que es consumeix en el mateix moment en que s'està generant: sorgeix de fer la diferència entre la generació i els consums quan la producció és més gran que la demanda o de prendre directament la generació elèctrica en el cas oposat. Aquestes dades es mostren en la Taula 27.

Taula 27.- Autoconsum directe d'energia fotovoltaica (kWh).

	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	TOTAL
Gener	0,00	0,00	0,00	1,98	3,27	3,98	4,70	4,97	5,12	4,86	4,45	4,09	0,06	0,00	0,00	37,49
Febrer	0,00	0,00	0,04	2,80	3,61	4,07	4,48	4,74	4,98	4,84	4,64	4,27	3,31	0,00	0,00	41,78
Març	0,00	0,02	0,99	3,89	4,84	5,50	5,90	6,26	6,40	6,16	5,80	5,61	4,78	0,22	0,00	56,36
Abril	0,00	0,54	2,44	5,98	7,36	8,31	9,09	9,61	9,68	9,34	8,87	8,37	5,77	1,18	0,00	86,54
Maig	0,14	1,12	3,55	7,96	9,44	10,59	11,51	12,21	12,32	11,91	11,22	10,46	6,69	1,76	0,13	111,01
Juny	0,35	1,29	3,38	9,27	14,79	19,17	21,88	22,96	22,96	21,21	17,54	12,85	7,23	2,28	0,41	177,58
Juliol	0,19	1,04	2,77	8,62	13,32	16,64	17,79	19,03	18,92	18,28	17,72	13,94	8,38	2,66	0,38	159,68
Agost	0,00	0,83	2,40	7,35	8,67	10,72	11,27	12,03	12,07	11,82	11,40	11,55	7,48	1,80	0,08	109,47
Setembre	0,00	0,29	2,21	5,80	6,91	7,95	8,62	9,00	9,13	8,88	8,54	8,22	4,58	0,28	0,00	80,42
Octubre	0,00	0,00	1,47	3,71	4,69	5,47	5,94	6,18	6,31	6,09	5,79	5,30	1,13	0,00	0,00	52,07
Novembre	0,00	0,00	0,35	2,84	3,43	4,18	4,56	4,86	4,84	4,51	4,09	4,13	0,00	0,00	0,00	37,80
Desembre	0,00	0,00	0,00	3,07	4,84	5,72	6,51	6,97	7,17	6,71	5,78	3,91	0,00	0,00	0,00	50,70

Abans de continuar amb el procediment per escollir la configuració de bateries, cal definir

alguns conceptes:

- Energia acumulable i aprofitable: és l'energia que no s'autoconsumeix de forma directa i que, segons les previsions, pot arribar a fer servei cobrint tota o part de la demanda durant les hores que no fa sol. Per tant, és l'energia que es té en compte per arribar a calcular la capacitat de les bateries. En els mesos que la generació és més gran que el consum, es calcula fent la diferència entre consum i autoconsum directe. Quan el consum és major que la producció, es calcula fent la diferència entre generació i autoconsum directe.
- Energia no aprofitable: és l'excedent d'energia elèctrica produïda per les plaques solars en els mesos de sobreproducció i que no es pot aprofitar perquè ja s'ha cobert la demanda. Només es dona en els mesos que la generació és més gran que el consum.
- Consum xarxa/grup electrogen: és l'energia que ha de proporcionar la xarxa i/o grup electrogen per arribar a cobrir la demanda planificada pel mes en qüestió que no han estat capaços d'assolir els mòduls fotovoltaics. Només es dona en els mesos que el consum és més gran que la generació.
- Consum cobert per PV: és la suma entre l'autoconsum directe i l'energia acumulable i aprofitable, és a dir, l'energia fotovoltaica generada de la que s'extreu un profit.

Taula 28.- Taula sumari dels diferents tipus d'energia.

	Consum diari (kWh/dia)	Generació PV (kWh/dia)	Autoconsum PV directe (kWh/dia)	Energia acumulable i aprofitable (kWh/dia)	Energia PV no aprofitada (kWh/dia)	Consum xarxa/grup electrogen (kWh/dia)	Consum cobert per PV (kWh/dia)
Gener	124,23	88,52	37,49	51,03	0,00	35,71	88,52
Febrer	108,73	134,88	41,78	93,10	26,24	0,00	134,88
Març	126,72	162,92	56,36	106,56	26,20	0,00	162,57
Abril	200,66	162,57	86,54	76,03	0,00	38,09	162,57
Maig	249,88	175,20	111,01	64,19	0,00	74,68	175,20
Juny	456,94	178,45	177,58	0,87	0,00	278,49	178,45
Juliol	347,61	182,89	159,68	23,20	0,00	164,73	182,88
Agost	219,05	178,26	109,47	68,79	0,00	40,79	178,26
Setembre	184,34	162,97	80,42	82,55	0,00	21,37	162,97
Octubre	128,92	136,72	52,07	84,64	7,80	0,00	136,71
Novembre	104,08	105,60	37,80	67,80	1,52	0,00	105,60
Desembre	198,13	81,66	50,70	30,97	0,00	116,46	81,67

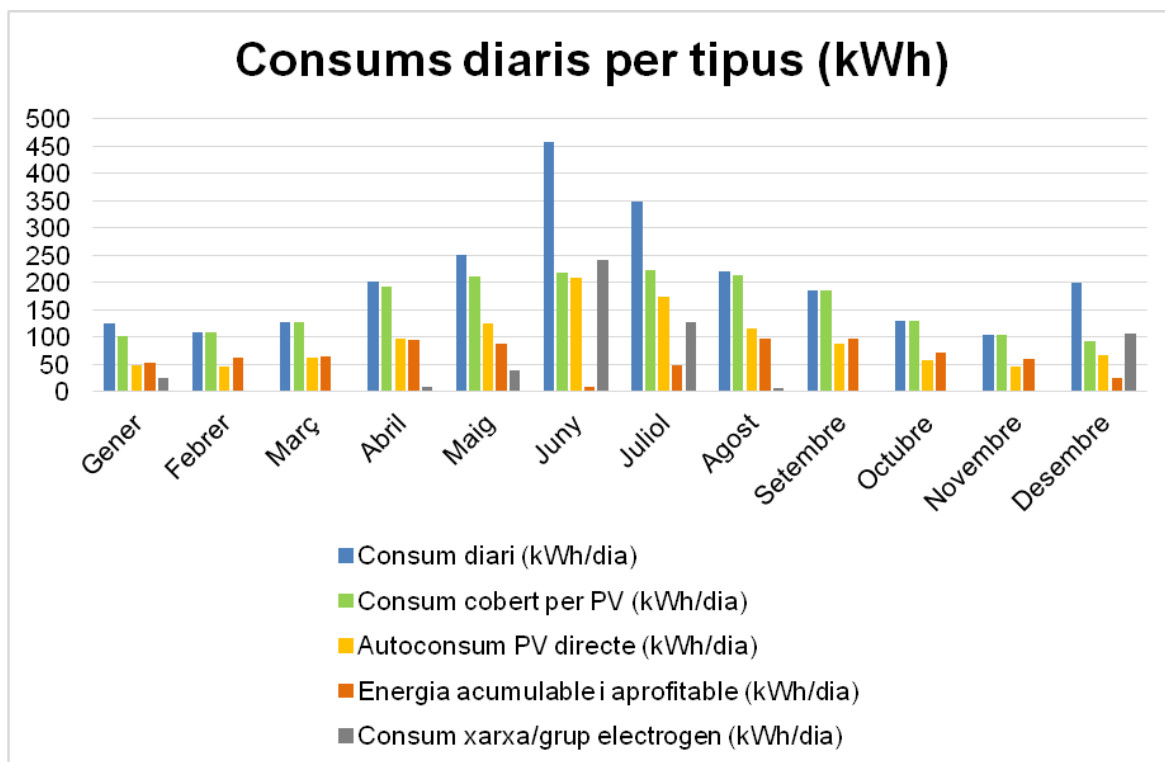


Figura 20.- Representació gràfica dels diferents tipus d'energia estratificat per mesos.

A continuació, a partir de la potència diària màxima a emmagatzemar, s'ha procedit a calcular la capacitat de les bateries. Per fer-ho, s'ha seguit l'operació mostrada a l'Equació 18.

$$Capacitat (Ah) = \frac{P_{\text{màx emmagatzemar}} \left(\frac{Wh}{dia} \right) \cdot t_{\text{acum}} (\text{dies})}{V_n (V) \cdot Profunditat \text{ de descàrrega}}$$

Equació 18.- Expressió utilitzada per calcular la capacitat de la bateria.

La potència diària màxima a emmagatzemar és la diferència entre la potència generada i la potència d'autoconsum el dia en que més quantitat d'energia s'ha d'acumular per garantir el màxim de cobriment possible amb energia fotovoltaica. El temps d'autonomia és el període de temps que es pretén que la instal·lació aguantí sense sustentació externa. La tensió nominal és el potencial de corrent continu de bateries que l'inversor híbrid pot suportar. I la profunditat de descàrrega indica el nivell límit de bateria on s'hauria de quedar per garantir un correcte funcionament d'aquesta i una degradació més lenta. La Taula 29 mostra aquestes dades per la instal·lació projectada.

Taula 29.- Dades del conjunt de bateries.

Potència diària màxima a emmagatzemar	170000	Wh/dia
Temps d'autonomia	1	dia
Tensió nominal	48	V
Profunditat de descàrrega	50	%
Capacitat bateria	7083,33	Ah

En conseqüència, en dimensionar les bateries, s'ha optat per les bateries d'elements 2 V OPzS Solar 3100. Es poden observar algunes de les seves característiques a la Taula 30.

Taula 30.- Característiques principals de les bateries OPzS Solar 3100.

Tensió nominal (Vn)	2	V
Capacitat 6h (C6)	2080	Ah
Capacitat 10h (C10)	2318	Ah
Capacitat 12h (C12)	2343	Ah
Capacitat 24h (C24)	2520	Ah
Capacitat 48h (C48)	2755	Ah
Capacitat 72h (C72)	2910	Ah
Capacitat 100h (C100)	3040	Ah

D'aquesta manera, tal com es mostra en l'Equació 19 i l'Equació 20, es calcula el nombre de bateries en sèrie i en paral·lel que són necessàries, tenint en compte que col·locant-les en sèrie se sumen els voltatges produïts i en paral·lel se sumen les capacitats que poden oferir.

$$\text{Nombre de bateries en sèrie} = \frac{V_n}{V_{bat}} = \frac{48 \text{ V}}{2 \text{ V}} = 24 \text{ bateries}$$

Equació 19.- Càlcul nombre d'elements en sèrie.

$$\text{Nombre de sèries en paral·lel} = \frac{\text{Capacitat}}{\text{Capacitat}_{bat}} = \frac{7083,33 \text{ Ah}}{2520 \text{ Ah}} = 2,811 \approx 3 \text{ sèries}$$

Equació 20.- Càlcul de sèries d'elements en paral·lel.

Finalment, tot i que per garantir completament l'aprofitament d'energia caldrien 3 sèries de bateries, s'opta per col·locar-ne solament 2. Això es deu a que amb dues sèries s'aconsegueix cobrir quasi tota l'energia a emmagatzemar. Aquesta decisió suposa un gran estalvi econòmic, tant en la inversió inicial com a llarg termini, en la reposició del conjunt de bateries, ja que són elements d'alt cost. La Taula 31 mostra com queda la distribució de bateries:

Taula 31.- Dimensionat proposat de les bateries.

Nombre elements en sèrie	24	ud
Nombre elements en paral·lel	2	ud
Nombre total d'elements	48	ud
Tensió nominal total (Vn)	48	V
Capacitat 24h Total (C24)	5040	Ah
Capacitat necessària	7083,33	Ah
Temps d'autonomia (t aut)	1	dia
Profunditat de descàrrega	50	%
Nombre de cicles a 50%	3000	cicles

4.2.1.7. Seccions de cables i elements de seguretat

Una vegada realitzat el dimensionament dels principals elements de la instal·lació, s'ha procedit a calcular la llargada i seccions dels conductors de les diferents parts d'aquesta. Per fer-ho, en primer lloc, s'ha calculat les seccions a partir de la caiguda de tensió desitjada en cada conductor. Les expressions que permeten obtenir la secció a partir de la caiguda de tensió es mostren en l'Equació 21, l'Equació 22 i l'Equació 23.

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot P}{\sigma \cdot V_n \cdot e} = \frac{2 \cdot L \cdot I_n}{\sigma \cdot e}$$

Equació 21.- Expressió que obté la secció de cablejat en CC a partir de la caiguda de tensió desitjada.

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot I_n \cdot \cos \varphi}{\sigma \cdot e} = \frac{2 \cdot L \cdot P}{\sigma \cdot V_n \cdot e}$$

Equació 22.- Expressió que obté la secció de cable en CA monofàsic a partir de la caiguda de tensió desitjada.

$$S = \frac{L \cdot I_n \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi}{\sigma \cdot e} = \frac{L \cdot P}{\sigma \cdot V_n \cdot e}$$

Equació 23.- Expressió que obté la secció de cable en CA trifàsic a partir de la caiguda de tensió desitjada.

on:

S la secció de cablejat obtinguda en mm²

L la longitud del tram de cablejat en qüestió en m

P la potència que suporta el tram de cablejat en qüestió en W

σ la conductivitat del material del tram de cablejat en qüestió ($\sigma_{\text{Coure}}=56 \text{ m}/(\Omega \cdot \text{mm}^2)$,
 $\sigma_{\text{Alumini}}=36 \text{ m}/(\Omega \cdot \text{mm}^2)$)

V_n la tensió nominal de la línia en V

I_n la secció de cablejat obtinguda en mm^2

$\cos(\varphi)$ el factor de potència de la instal·lació (s'utilitza 0,95 en aquest cas)

e la caiguda de tensió en % del tram de cablejat en qüestió

Un cop calculada la secció necessària del conductor a partir de la caiguda de tensió desitjada, s'ha escollit la secció normalitzada immediatament superior a l'obtinguda. Tanmateix, s'ha comprovat a les taules de l'UNE 60364-5-52 [17] que les intensitats no fossin superiors a les màximes admeses per cada secció, aïllant i mètode d'instal·lació. En cas que no ho fossin, s'ha augmentat les seccions fins les que admeten les intensitats que hi circulen. La Taula 32 i la Taula 33 mostren els quadres utilitzats per garantir el compliment de la norma.

Taula 32.- Intensitats màximes admissibles per diferents mètodes d'instal·lació i recobriments a l'aire lliure.**Tabla C.52.1 bis – Corrientes admisibles en amperios – Temperatura ambiente 40 °C en el aire**

Método de referencia de la tabla B.52.1	Número de conductores cargados y tipo de aislamiento																	
	A1	PVC3	PVC2				XLPE 3		XLPE 2									
A2	PVC3	PVC2			XLPE 3		XLPE 2											
B1				PVC3		PVC2					XLPE 3					XLPE 2		
B2			PVC3	PVC2					XLPE 3		XLPE 2							
C						PVC3				PVC2			XLPE 3			XLPE 2		
E								PVC3				PVC2				XLPE 3		XLPE 2
F										PVC3				PVC2			XLPE 3	XLPE 2
1	2	3	4	5a	5b	6a	6b	7a	7b	8a	8b	9a	9b	10a	10b	11	12	13
Sección mm ² Cobre																		
1,5	11	11,5	12,5	13,5	14	14,5	15,5	16	16,5	17	17,5	19	20	20	20	21	23	–
2,5	15	15,5	17	18	19	20	20	21	22	23	24	26	27	26	28	30	32	–
4	20	20	22	24	25	26	28	29	30	31	32	34	36	36	38	40	44	–
6	25	26	29	31	32	34	36	37	39	40	41	44	46	46	49	52	57	–
10	33	36	40	43	45	46	49	52	54	54	57	60	63	65	68	72	78	–
16	45	48	53	59	61	63	66	69	72	73	77	81	85	87	91	97	104	–
25	59	63	69	77	80	82	86	87	91	95	100	103	108	110	115	122	135	146
35	–	–	–	95	100	101	106	109	114	119	124	127	133	137	143	153	168	182
50	–	–	–	116	121	122	128	133	139	145	151	155	162	167	174	188	204	220
70	–	–	–	148	155	155	162	170	178	185	193	199	208	214	223	243	262	282
95	–	–	–	180	188	187	196	207	216	224	234	241	252	259	271	298	320	343
120	–	–	–	207	217	216	226	240	251	260	272	280	293	301	314	350	373	397
150	–	–	–	–	–	247	259	276	289	299	313	322	337	343	359	401	430	458
185	–	–	–	–	–	281	294	314	329	341	356	368	385	391	409	460	493	523
240	–	–	–	–	–	330	345	368	385	401	419	435	455	468	489	545	583	617
Aluminio																		
2,5	11,5	12	13	14	15	16	16,5	17	17,5	18	19	20	20	20	21	23	25	–
4	15	16	17	19	20	21	22	22	23	24	25	26	28	27	29	31	34	–
6	20	20	22	24	25	27	29	28	30	31	32	33	35	36	38	40	44	–
10	26	27	31	33	35	38	40	40	41	42	44	46	49	50	52	56	60	–
16	35	37	41	46	48	50	52	53	55	57	60	63	66	66	70	76	82	–
25	46	49	54	60	63	63	66	67	70	72	75	78	81	84	88	91	98	110
35	–	–	–	74	78	78	81	83	87	89	93	97	101	104	109	114	122	136
50	–	–	–	90	94	95	100	101	106	108	113	118	123	127	132	140	149	167
70	–	–	–	115	121	121	127	130	136	139	145	151	158	162	170	180	192	215
95	–	–	–	140	146	147	154	159	166	169	177	183	192	197	206	219	233	262
120	–	–	–	161	169	171	179	184	192	196	205	213	222	228	239	254	273	306
150	–	–	–	–	–	196	205	213	222	227	237	246	257	264	276	294	314	353
185	–	–	–	–	–	222	232	243	254	259	271	281	293	301	315	337	361	406
240	–	–	–	–	–	261	273	287	300	306	320	332	347	355	372	399	427	482

Taula 33.- Intensitats màximes admissibles per diferents tipus de recobriment en cables soterrats.**Tabla C.52.2 bis – Corrientes admisibles en amperios – Temperatura ambiente 25 °C en el terreno**

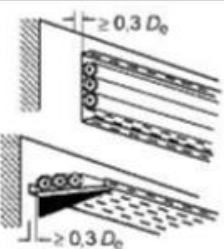
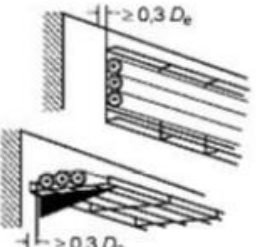
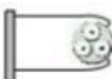


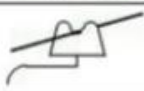
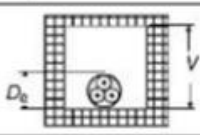
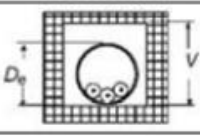
Método de instalación	Sección mm ²	Número de conductores cargados y tipo de aislamiento			
		PVC2	PVC3	XLPE2	XLPE3
D1/D2	Cobre				
	1,5	20	17	24	21
	2,5	27	22	32	27
	4	36	29	42	35
	6	44	37	53	44
	10	59	49	70	58
	16	76	63	91	75
	25	98	81	116	96
	35	118	97	140	117
	50	140	115	166	138
	70	173	143	204	170
	95	205	170	241	202
	120	233	192	275	230
	150	264	218	311	260
	185	296	245	348	291
	240	342	282	402	336
	300	387	319	455	380
D1/D2	Aluminio				
	2,5	20	17,5	24	21
	4	27	22	32	27
	6	34	28	40	34
	10	45	38	53	45
	16	58	49	70	58
	25	76	62	89	74
	35	91	76	107	90
	50	107	89	126	107
	70	133	111	156	132
	95	157	131	185	157
	120	179	149	211	178
	150	202	169	239	201
	185	228	190	267	226
	240	263	218	309	261
	300	297	247	349	295

Com que els conductors utilitzats són cables unipolars amb aïllament de polietilè reticulat, he utilitzat la columna XLPE2.

El mètode d'instal·lació de les línies no soterrades és mitjançant safates de reixeta. Per

tant, a partir de les indicacions de l'UNE 60364-5-52, s'ha utilitzat el mètode d'instal·lació E de la Taula 34.

Taula 34.- Taula de l'UNE 60364-5-52, on s'indiquen diferents possibles mètodes d'instal·lació.

Elemento n°	Métodos de instalación	Descripción	Método de instalación de referencia a utilizar para obtener las intensidades admisibles (véase el anexo B)
31		Cables unipolares o multipolares: Sobre bandejas perforadas en recorrido horizontal o vertical ^{a, b} NOTA Refiérase al apartado B.52.6.2 para su descripción	E o F
32		Cables unipolares o multipolares: Sobre soportes o rejillas en recorrido horizontal o vertical ^{a, b}	E o F
33		Cables unipolares o multipolares: Separados de la pared más de 0,3 veces el diámetro del cable	E o F o método G [#]
34		Cables unipolares o multipolares: Sobre bandejas de escalera ^c	E o F
35		Cable unipolar o multipolar suspendido o incorporando un cable fiador o arnés	E o F
36		Conductores desnudos o aislados sobre aisladores	G
40		Cables unipolares o multipolares en un hueco de la construcción ^{a, b, i}	$1,5 D_e \leq V < 5 D_e$ B2 $5 D_e \leq V < 20 D_e$ B1
41		Conductores aislados en tubo en un hueco de la construcción ^{a, i, j, k}	$1,5 D_e \leq V < 20 D_e$ B2 $V \geq 20 D_e$ B1

En acabar, s'ha calculat els percentatges de les caigudes de tensió i les corresponents

pèrdues de potència. L'Equació 24, l'Equació 25 i l'Equació 26 mostren les expressions que permeten calcular aquests valors.

$$e(\%) = \frac{\frac{2 \cdot L \cdot I}{\sigma \cdot S}}{V} \cdot 100$$

$$Pp(\%) = \frac{e \cdot I}{P} \cdot 100$$

Equació 24.- Expressions que obtenen la caiguda de tensió i les pèrdues de potència en cables de CC a partir d'una secció donada.

$$e(\%) = \frac{\frac{2 \cdot L \cdot I \cdot \cos \varphi}{\sigma \cdot S}}{V} \cdot 100$$

$$Pp(\%) = \frac{e \cdot I \cdot \cos \varphi}{P} \cdot 100$$

Equació 25.- Expressions que obtenen la caiguda de tensió i les pèrdues de potència en cables de CA monofàsics a partir d'una secció donada.

$$e(\%) = \frac{\frac{L \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot \sqrt{3}}{\sigma \cdot S}}{V} \cdot 100$$

$$Pp(\%) = \frac{3 \cdot \frac{L}{\sigma \cdot S} \cdot I^2}{P} \cdot 100$$

Equació 26.- Expressions que obtenen la caiguda de tensió i les pèrdues de potència en cables de CA trifàsics a partir d'una secció donada.

4.2.1.7.1 Seccions de cables de CC

S'ha començat calculant les seccions de cable des dels mòduls fotovoltaics fins als inversors de xarxa. Per fer-ho, s'ha dividit les línies en 3 trams: el cablejat entre mòduls fotovoltaics, la longitud del qual és igual a cada sèrie; el cablejat des del final de cada sèrie fins la caixa de fusibles situada a la sala d'inversors i bateries; i el cablejat des dels fusibles fins les entrades dels inversors de xarxa. El recorregut dels conductors està especificat en

el plànol elèctric del cablejat dels panells.

El cablejat entre els mòduls i el cablejat des dels fusibles fins les entrades dels inversors de xarxa està instal·lat sobre safates de reixeta, mentre que el tram des del final de cada sèrie fins a la caixa de fusibles va soterrat. El material usat ha estat el coure, ja que, tot i ser més car i les longituds són elevades, les caigudes de tensió són menors degut a la millor conductivitat i, en conseqüència, les seccions resultants seran més reduïdes.

Tal com mostra el plec de condicions de les instal·lacions fotovoltaïques aïllades de l'IDAE [18], s'ha tingut en compte que la màxima caiguda de tensió admissible en la part de CC és d'1,5%.

La Taula 35 mostra els resultats obtinguts amb el mètode explicat anteriorment. La Taula 36 mostra la comprovació que no se sobrepassa la caiguda de tensió màxima admissible.

Taula 35.- Càlcul seccions de les línies en CC de la instal·lació fotovoltaica.

Càlcul seccions CC instal·lació fotovoltaica																
Cablejat entre sèries																
Inversor	Sèrie	Panells/sèrie	Pn(Wp)	Vmp(V)	Voc(V)	Imp(A)	Icc(A)	2*L(m)	e(%)	Scdt(mm²)		Material	S(mm²)	I _{max} (A)	e(%)	I _{max}
Tots	Totes	22	5940	701,36	842,60	8,47	9,07	35,154	0,3%	2,527		Coure	4	44	0,190%	OK
Tram final sèrie-caixa fusibles																
Inversor	Sèrie	Panells/sèrie	Pn(Wp)	Vmp(V)	Voc(V)	Imp(A)	Icc(A)	2*L(m)	e(%)	Scdt(mm²)		Material	S(mm²)	I _{max} (A)	e(%)	I _{max}
I.X.1	S1	22	5940	701,36	842,60	8,47	9,07	131,25	0,6%	4,717		Coure	6	53	0,708%	OK
	S2	22	5940	701,36	842,60	8,47	9,07	134,25	0,6%	4,825		Coure	6	53	0,724%	OK
	S3	22	5940	701,36	842,60	8,47	9,07	137,25	0,6%	4,933		Coure	6	53	0,740%	OK
I.X.2	S4	22	5940	701,36	842,60	8,47	9,07	147	0,6%	5,283		Coure	6	53	0,793%	OK
	S5	22	5940	701,36	842,60	8,47	9,07	150	0,6%	5,391		Coure	6	53	0,809%	OK
	S6	22	5940	701,36	842,60	8,47	9,07	153	0,6%	5,499		Coure	6	53	0,825%	OK
Tram caixa fusibles-inversor xarxa																
Inversor	Sèrie	Panells/sèrie	Pn(Wp)	Vmp(V)	Voc(V)	Imp(A)	Icc(A)	2*L(m)	e(%)	Scdt(mm²)		Material	S(mm²)	I _{max} (A)	e(%)	I _{max}
I.X.1	S1-S3	22	5940	701,36	842,60	8,47	9,07	3	0,03%	2,156		Coure	6	57	0,016%	OK
I.X.2	S4-S6	22	5940	701,36	842,60	8,47	9,07	4,75	0,03%	3,414		Coure	6	57	0,026%	OK

Taula 36.- Comprovació dels valors de caigudes de tensió en la part de CC de la instal·lació fotovoltaica.

Sèrie	e(%) entre sèries	e(%) fi sèrie-fusibles	e(%) fusibles-inversors	e(%) total	e(%) màxima
S1	0,190%	0,708%	0,016%	0,913%	1,50%
S2	0,190%	0,724%	0,016%	0,929%	1,50%
S3	0,190%	0,740%	0,016%	0,946%	1,50%
S4	0,190%	0,793%	0,026%	1,008%	1,50%
S5	0,190%	0,809%	0,026%	1,024%	1,50%
S6	0,190%	0,825%	0,026%	1,040%	1,50%

Per altra banda, s'ha calculat les seccions dels conductors de les línies de CC de les bateries. En aquest cas, s'ha dividit les línies en dos trams: el cablejat des de les bateries als embarrats i el cablejat dels embarrats fins l'entrada de l'inversor carregador, passant també per la caixa de fusibles.

Totes les línies de CC de les bateries estan situades a l'interior de la granja i, per tant, van instal·lades sobre safates de reixeta.

Els resultats obtinguts amb el mètode explicat anteriorment es mostren en la Taula 37.

Taula 37.- Càlcul seccions de les línies en CC de les bateries.

Càlcul seccions CC grup bateries											
Tram bateries-caixa fusibles-embarrats											
Sèrie	Pn(kW)	Vn(V)	In(A)	2*L(m)	e(%)	Scdt(mm²)	Material	S(mm²)	I _{max} (A)	e(%)	I _{max} (A)
S1	7500	48	156,25	22	0,60%	213,139	Coure	240	583	0,533%	OK
S2	7500	48	156,25	27	0,70%	224,211	Coure	240	583	0,654%	OK
Tram embarrats-inversors híbrids											
Inversor	Pn(kW)	Vn(V)	In(A)	2*L(m)	e(%)	Scdt(mm²)	Material	S(mm²)	I _{max} (A)	e(%)	I _{max} (A)
I.H.1	5000	48	104,17	12,25	0,20%	237,359	Coure	240	583	0,198%	OK
I.H.2	5000	48	104,17	10,50	0,20%	203,450	Coure	240	583	0,170%	OK
I.H.3	5000	48	104,17	8,75	0,15%	226,056	Coure	240	583	0,141%	OK
I.H.4	5000	48	104,17	12,25	0,20%	237,359	Coure	240	583	0,198%	OK
I.H.5	5000	48	104,17	10,50	0,20%	203,450	Coure	240	583	0,170%	OK
I.H.6	5000	48	104,17	8,75	0,15%	226,056	Coure	240	583	0,141%	OK

En el cas de les bateries, la màxima caiguda de tensió admissible en la part de CC en les instal·lacions fotovoltaïques aïllades de l'IDAE és igualment d'1,5%. La Taula 38 mostra la comprovació que no es sobrepassa el valor establert.

Taula 38.- Comprovació dels valors de caigudes de tensió en la part de CC de les bateries.

Caigudes de tensió línies CC bateries	
Màxima e(%) bateries-embarrats	0,654%
Màxima e(%) embarrats-inversors híbrids	0,198%
Màxima e(%) total	0,852%

4.2.1.7.2 Seccions de cables de CA

En la part de corrent altern, per calcular les seccions, s'ha optat per dividir les línies en els diversos trams que separen els diferents components.

Totes les línies de CA estan situades a l'interior de la granja i, per tant, van instal·lades sobre safates de reixeta.

La Taula 39 mostra els resultats obtinguts amb el mètode explicat anteriorment.


Taula 39.- Càlcul seccions de les línies en CA.


Càlcul seccions CA												
Tram sortida grup electrogen-caixa proteccions CA-bypass												
Tipus	Nom	Pn(VA)	Vn(V)	In(A)	L(m)	e(%)	Scdt(mm²)	Material	S(mm²)	I _{max} (A)	e(%)	I _{max}
TRIFÀSICA	Sortida grup	25400	400	36,66	15	0,2%	26,931	Coure	35	168	0,346%	OK
Tram sortida bypass-inversors híbrids												
Tipus	Nom	Pn(VA)	Vn(V)	In(A)	L(m)	e(%)	Scdt(mm²)	Material	S(mm²)	I _{max} (A)	e(%)	I _{max}
MONOFÀSICA	IN I.H.1 Fase R	4233,33	230	18,41	6	0,15%	10,861	Coure	16	104	0,102%	OK
MONOFÀSICA	IN I.H.2 Fase S	4233,33	230	18,41	5,25	0,10%	14,254	Coure	16	104	0,089%	OK
MONOFÀSICA	IN I.H.3 Fase T	4233,33	230	18,41	4,25	0,10%	11,539	Coure	16	104	0,072%	OK
MONOFÀSICA	IN I.H.4 Fase R	4233,33	230	18,41	2,75	0,07%	10,667	Coure	16	104	0,047%	OK
MONOFÀSICA	IN I.H.5 Fase S	4233,33	230	18,41	3,5	0,09%	10,559	Coure	16	104	0,059%	OK
MONOFÀSICA	IN I.H.6 Fase T	4233,33	230	18,41	4,5	0,10%	12,218	Coure	16	104	0,076%	OK
Tram sortida alternativa bypass-quadre general comandament i protecció												
Tipus	Nom	Pn(W)	Vn(V)	In(A)	L(m)	e(%)	Scdt(mm²)	Material	S(mm²)	I _{max} (A)	e(%)	I _{max}
TRIFÀSICA	Sortida bypass	30000	400	43,30	5	0,05%	31,808	Coure	35	168	0,136%	OK
Tram sortida individual inversors híbrids-caixa connexions												
Tipus	Nom	Pn(VA)	Vn(V)	In(A)	L(m)	e(%)	Scdt(mm²)	Material	S(mm²)	I _{max} (A)	e(%)	I _{max}
MONOFÀSICA	OUT I.H.1 Fase R	5000	230	21,74	6	0,15%	12,827	Coure	16	104	0,120%	OK
MONOFÀSICA	OUT I.H.2 Fase S	5000	230	21,74	5,25	0,15%	11,224	Coure	16	104	0,105%	OK
MONOFÀSICA	OUT I.H.3 Fase T	5000	230	21,74	4,25	0,10%	13,629	Coure	16	104	0,085%	OK
MONOFÀSICA	OUT I.H.4 Fase R	5000	230	21,74	2,75	0,08%	11,024	Coure	16	104	0,055%	OK
MONOFÀSICA	OUT I.H.5 Fase S	5000	230	21,74	3,5	0,10%	11,224	Coure	16	104	0,070%	OK
MONOFÀSICA	OUT I.H.6 Fase T	5000	230	21,74	4,5	0,10%	14,431	Coure	16	104	0,090%	OK
Tram línia general sortida inversors híbrids caixa connexions-caixa proteccions CA-caixa connexions												
Tipus	Nom	Pn(W)	Vn(V)	In(A)	L(m)	e(%)	Scdt(mm²)	Material	S(mm²)	I _{max} (A)	e(%)	I _{max}
TRIFÀSICA	Sortida general inversors híbrids	30000	400	43,30	5	0,05%	31,808	Coure	35	168	0,136%	OK
Tram sortida individual inversors xarxa-caixa proteccions CA-caixa connexions												
Tipus	Nom	Pn(W)	Vn(V)	In(A)	L(m)	e(%)	Scdt(mm²)	Material	S(mm²)	I _{max} (A)	e(%)	I _{max}
TRIFÀSICA	OUT I.X.1	15000	400	21,65	4,75	0,04%	18,886	Coure	25	135	0,091%	OK
TRIFÀSICA	OUT I.X.2	15000	400	21,65	5,75	0,05%	18,290	Coure	25	135	0,110%	OK
Tram línia general sortida inversors híbrids caixa connexions-caixa proteccions CA-caixa connexions												
Tipus	Nom	Pn(W)	Vn(V)	In(A)	L(m)	e(%)	Scdt(mm²)	Material	S(mm²)	I _{max} (A)	e(%)	I _{max}
TRIFÀSICA	Sortida general inversors xarxa	30000	400	43,30	5	0,05%	31,808	Coure	35	168	0,136%	OK
Tram línia general caixa connexions-caixa proteccions CA-bypass-quadre general comandament i protecció												
Tipus	Nom	Pn(W)	Vn(V)	In(A)	L(m)	e(%)	Scdt(mm²)	Material	S(mm²)	I _{max} (A)	e(%)	I _{max}
TRIFÀSICA	Caixa connexions	30000	400	43,30	6,5	0,05%	41,350	Coure	50	204	0,124%	OK

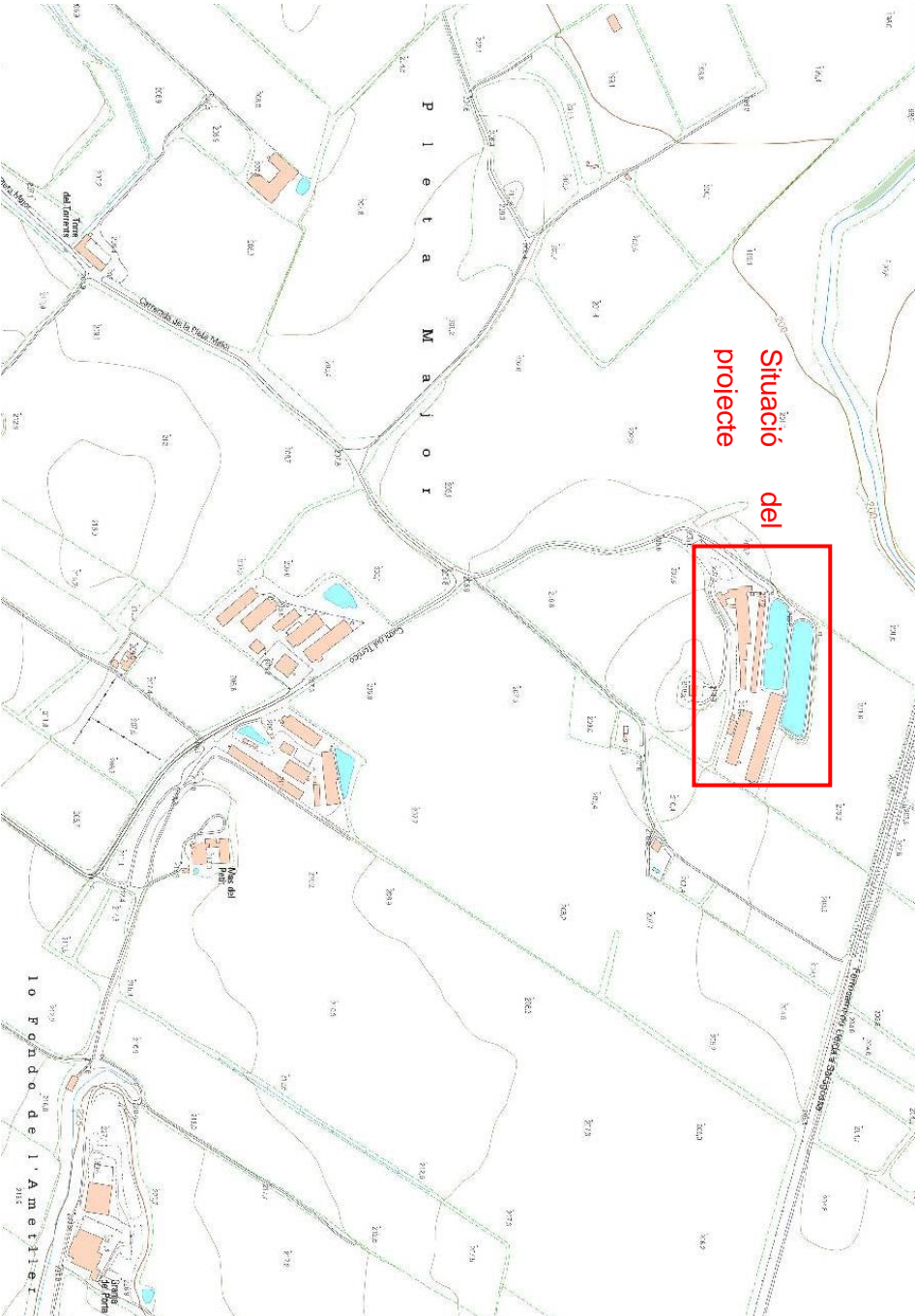

La màxima caiguda de tensió admissible en la part de CA, segons el plec de condicions de les instal·lacions fotovoltaïques aïllades de l'IDAE, és de 2%. S'ha comprovat que no es sobrepassa aquest valor en la Taula 40.

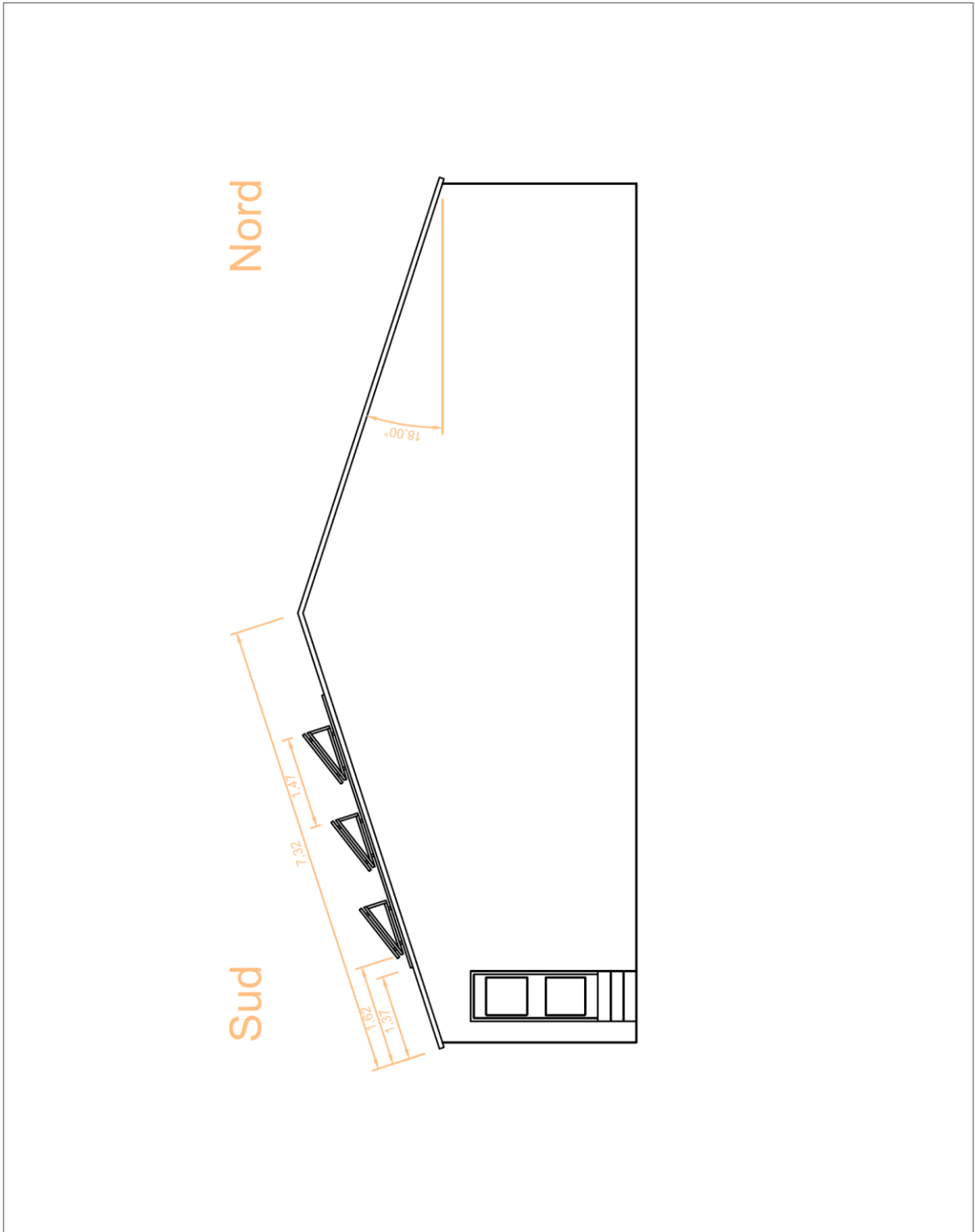
Taula 40.- Comprovació dels valors de caigudes de tensió en la part de CA.


Caiguda de tensió (%)	
Sortida grup	0,346%
Sortida bypass-inversors híbrids	0,102%
Sortida Alt.Bypass-quadre	0,136%
Sortida ind. Inversors híbrids	0,120%
Sortida general inversors híbrids	0,136%
Sortida ind. Inversors xarxa	0,110%
Sortida general inversors xarxa	0,136%
Caixa connexions-quadre general	0,124%
Total	1,211%

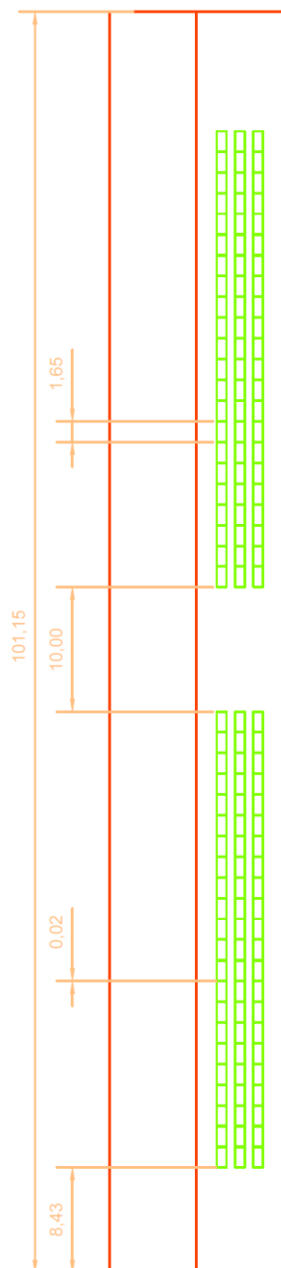
Província: Lleida (25) Municipi: Almacelles Polígon: 5 Parcel·les: 40-41-46 FUS UTM: 31 Latitud: 41°45'24,8" Longitud: 0°25'30,6"			
	Treball de Fi de Grau: Estudi de diferents opcions d'integració de generació fotovoltaica en edificis		
	ESCALA: 1:5000	TIPUS DE PLÀNOL: SITUACIÓ I EMPLAÇAMENT	Plànol 1 de 11
		DESCRIPCIÓ: ORTOFOTO SITUACIÓ [4]	
	AUTOR: Romà Colom Pujol		DATA: 13/11/2018


<div>Provincia: Lleida (25) Municipi: Almacelles (19) Polígon: 5 Parcel·les: 41 i 343 FUS UTM: 31 Latitud: 41°45'24,8" Longitud: 0°25'30,6"</div>			
	Treball de Fi de Grau: Estudi de diferents opcions d'integració de generació fotovoltaica en edificis		
	ESCALA: 1:2500	TIPUS DE PLÀNOL: SITUACIÓ I EMPLAÇAMENT	Plànol 2 de 11
		DESCRIPCIÓ: ORTOFOTO SITUACIÓ [4]	
		AUTOR: Romà Colom Pujol	DATA: 13/11/2018

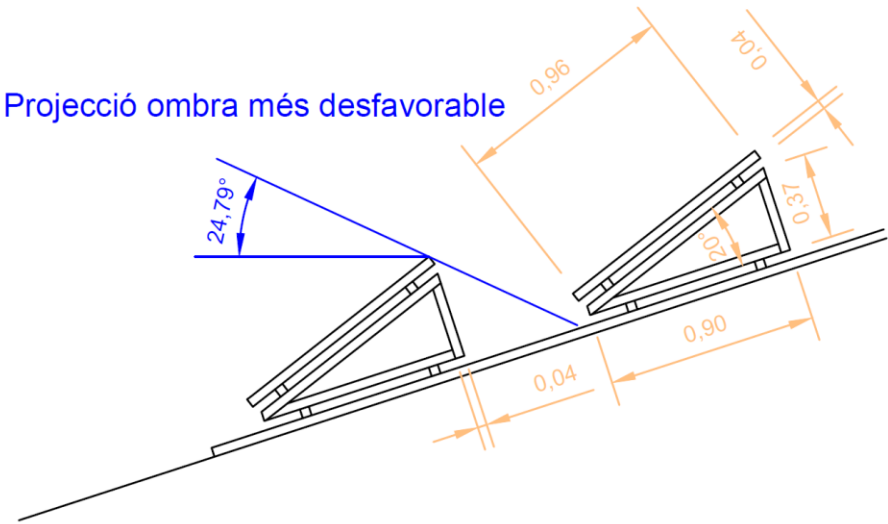
<div>Provincia: Lleida (25)</div> <div>Municipi: Almacelles (19)</div> <div>Polígon: 5</div> <div>FUS UTM: 31</div> <div>Parcel·les: 41 i 343</div> <div>Latitud: 41°45'24.8"</div> <div>Longitud: 0°25'30.6"</div>			
	Treball de Fi de Grau: Estudi de diferents opcions d'integració de generació fotovoltaica en edificis		
	ESCALA: 1:5000	TIPUS DE PLÀNOL: SITUACIÓ I EMPLAÇAMENT	Plànol 3 de 11
		DESCRIPCIÓ: PLÀNOL TOPOGRÀFIC SITUACIÓ	
	AUTOR: Romà Colom Pujol	DATA: 13/11/2018	




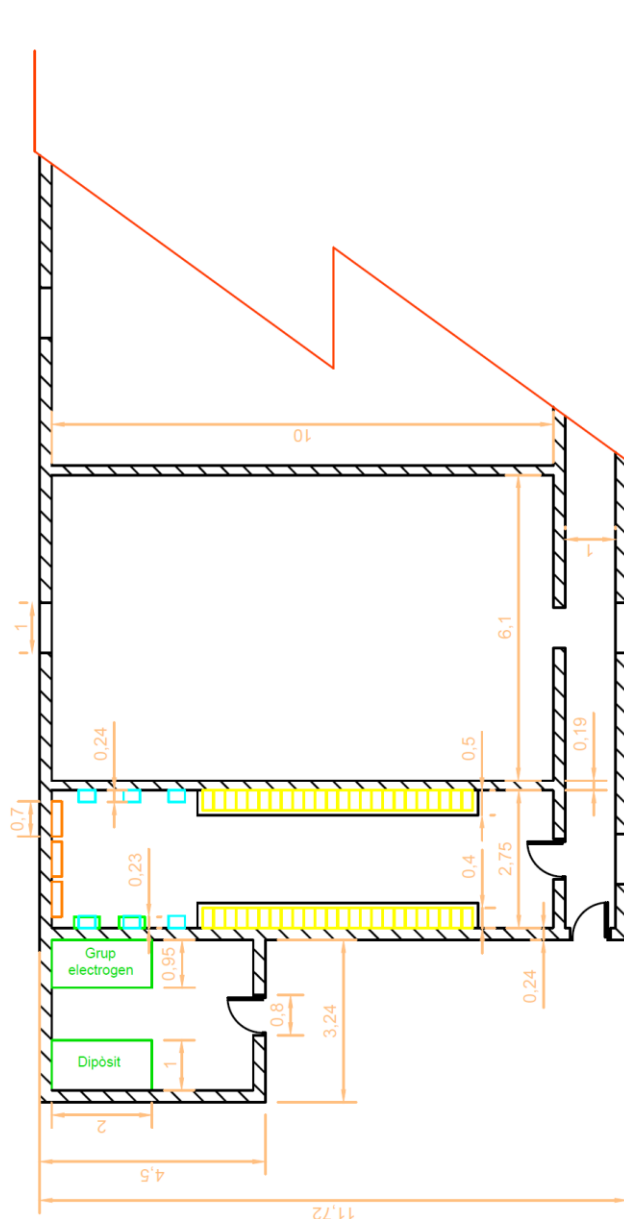
	Treball de Final de Grau: Estudi de diferents opcions d'integració de generació fotovoltaica en edificis		
	ESCALA: 1:100	TIPUS DE PLÀNOL: CONSTRUCTIU	Plànol 4 de 11
		DESCRIPCIÓ: PLÀNOL ALÇAT NAU 1	
		AUTOR: Romà Colom Pujol	DATA: 22/12/2018




	Treball de Final de Grau: Estudi de diferents opcions d'integració de generació fotovoltaica en edificis		
	ESCALA: 1:600	TIPUS DE PLÀNOL: CONSTRUCTIU	Plànol 5 de 11
		DESCRIPCIÓ: PLÀNOL NAU 1	
		AUTOR: Romà Colom Pujol	DATA: 22/12/2018




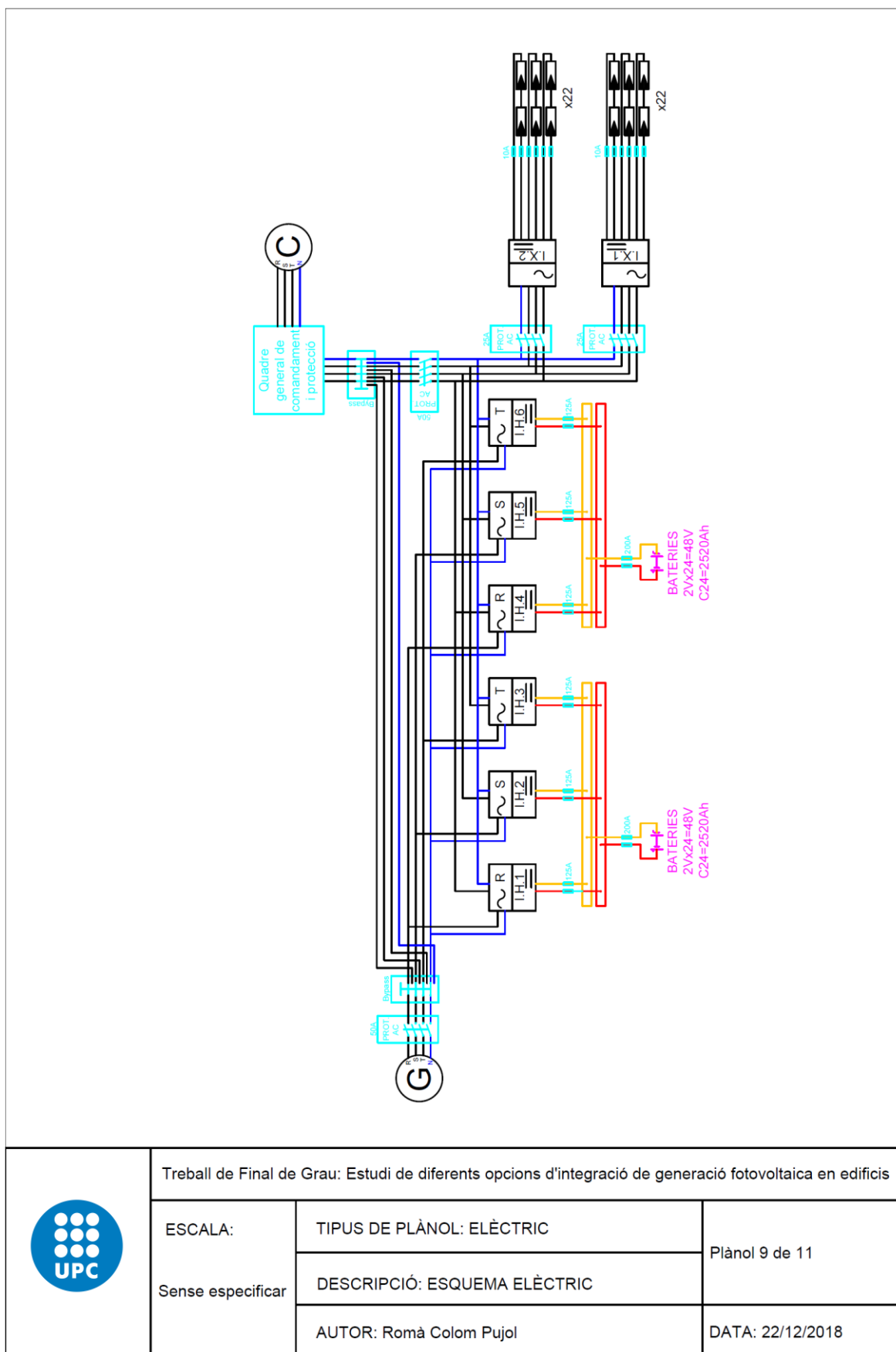
	Treball de Final de Grau: Estudi de diferents opcions d'integració de generació fotovoltaica en edificis		
	ESCALA: 1:32	TIPUS DE PLÀNOL: CONSTRUCTIU	Plànol 6 de 11
		DESCRIPCIÓ: PLÀNOL DETALL PANELLS	
		AUTOR: Romà Colom Pujol	DATA: 22/12/2018

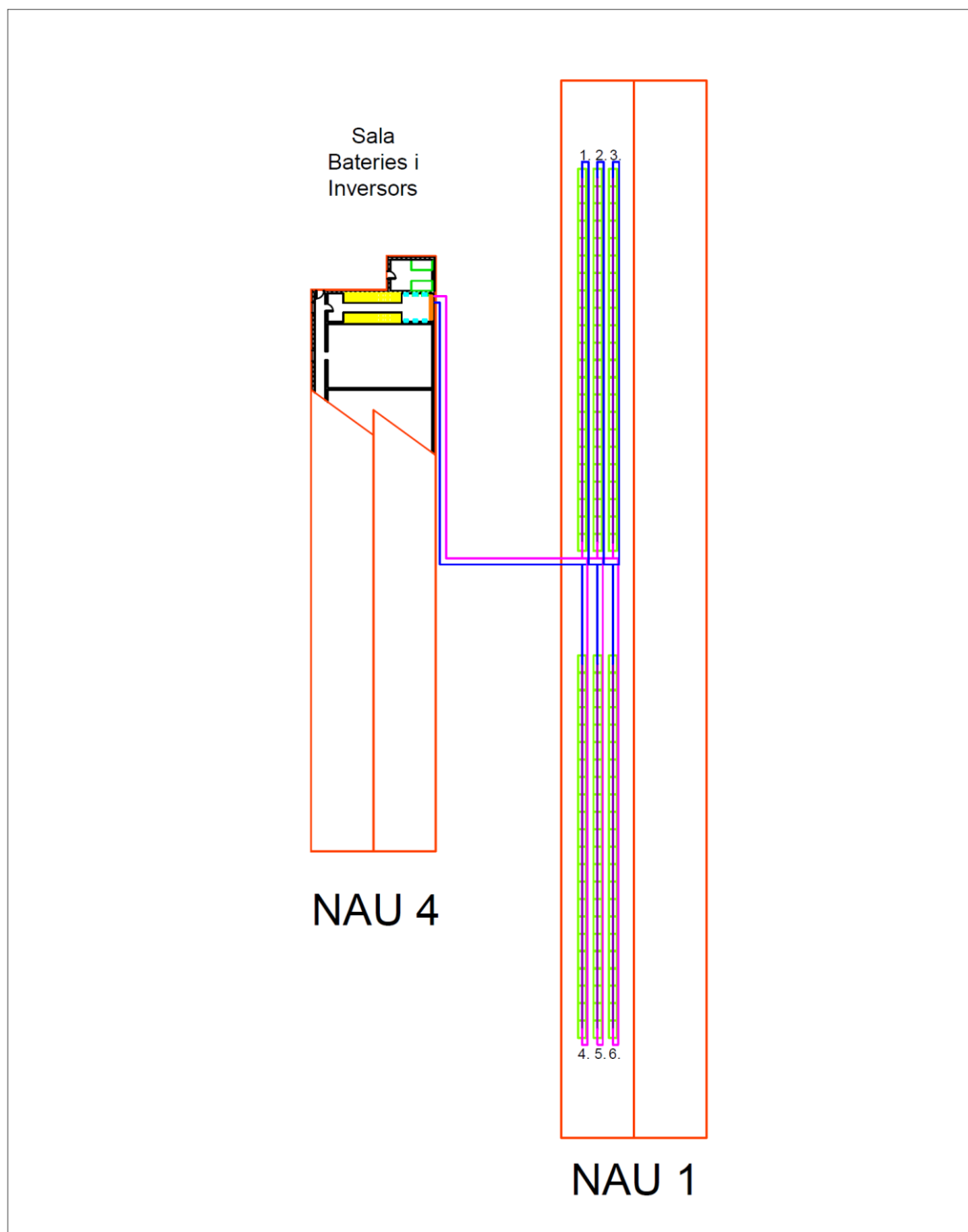



	Treball de Final de Grau: Estudi de diferents opcions d'integració de generació fotovoltaica en edificis		
	ESCALA: 1:150	TIPUS DE PLÀNOL: CONSTRUCTIU	Plànol 7 de 11
		DESCRIPCIÓ: PLÀNOL SALA INVERSORS	
		AUTOR: Romà Colom Pujol	DATA: 22/12/2018

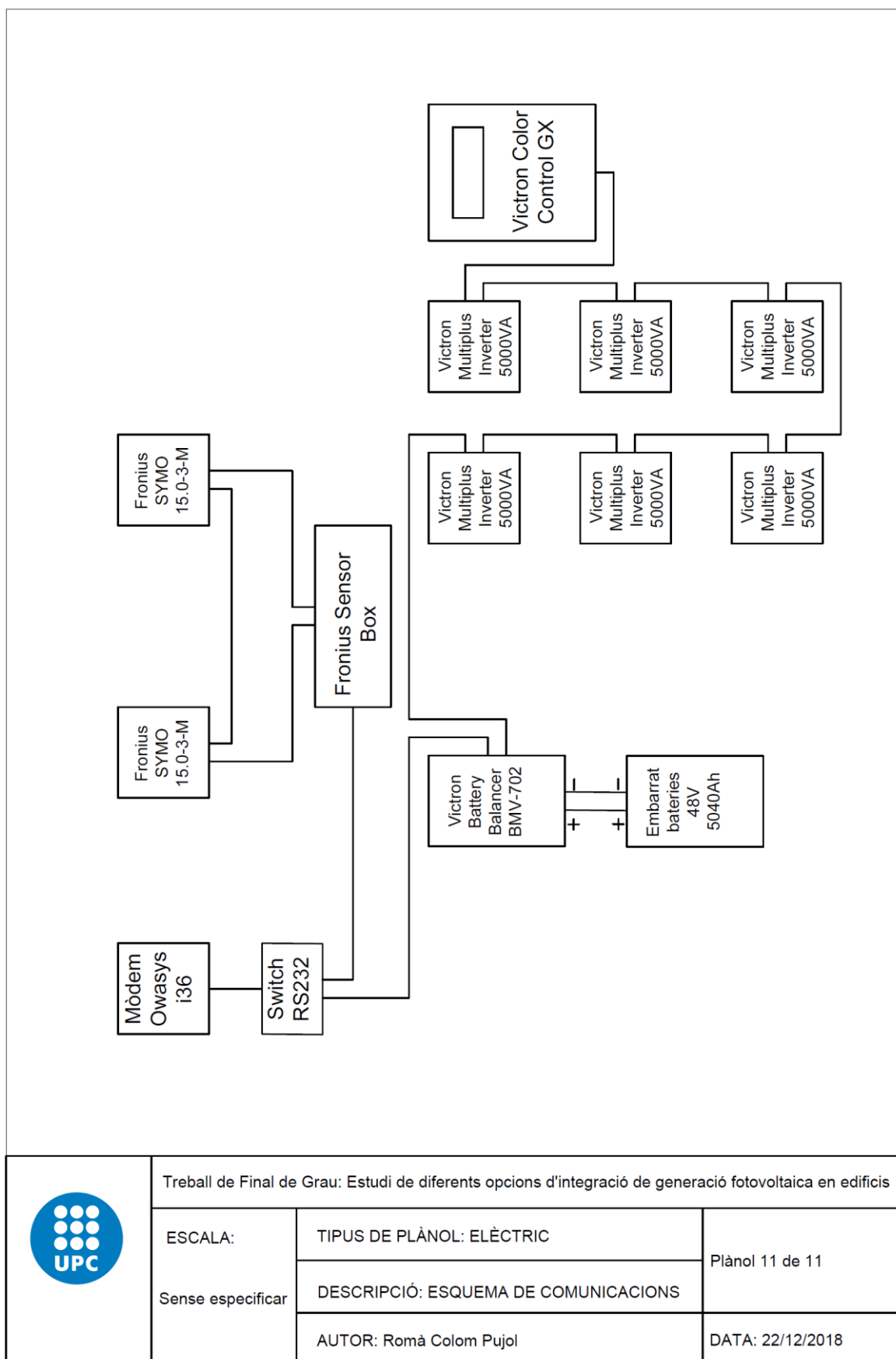


	Treball de Final de Grau: Estudi de diferents opcions d'integració de generació fotovoltaica en edificis		
	ESCALA: 1:75	TIPUS DE PLÀNOL: CONSTRUCTIU	Plànol 8 de 11
		DESCRIPCIÓ: PLÀNOL ALÇAT SALA INVERSORS	
		AUTOR: Romà Colom Pujol	DATA: 22/12/2018





	Treball de Final de Grau: Estudi de diferents opcions d'integració de generació fotovoltaica en edificis		
	ESCALA: 1:600	TIPUS DE PLÀNOL: ELÈCTRIC	Plànol 10 de 11
		DESCRIPCIÓ: PLÀNOL CABLEJAT INSTAL. PV	
		AUTOR: Romà Colom Pujol	DATA: 22/12/2018



4.3. Pressupost d'execució

Material fotovoltaic				
Concepte	Unitats		P.V.P Unitari	P.V.P Total
Mòdul fotovoltaic ATERSA A-270P de 270Wp	132	ud	151,88 €	20.048,16 €
Inversors/carregadors VICTRON Multiplus	6	ud	1.990,00 €	11.940,00 €
Victron Battery Balancer	1	ud	67,00 €	67,00 €
Victron Color Control GX	1	ud	526,00 €	526,00 €
Inversor Fronius SYMO 15.0-3-M	2	ud	2.535,66 €	5.071,32 €
Fronius DATCOM Sensor Box	1	ud	265,97 €	265,97 €
Switch o commutador RS232 2 entrades	1	ud	99,00 €	99,00 €
Mòdem OWASYS i36	1	ud	240,31 €	240,31 €
Bateria estacionària Tudor OPzS Solar 3100	48	ud	653,06 €	31.346,88 €
Estructura suport mòduls fotovoltaics				
Concepte	Unitats		P.V.P Unitari	P.V.P Total
Estructura d'alumini inclinada sobre coberta tipus Alusín Solar model GULPIYURI	1	ud	7.573,00 €	7.573,00 €
Grup electrogen				
Concepte	Unitats		P.V.P Unitari	P.V.P Total
Grup electrogen INMENSOL 27 kVA PRP / 30 kVA LTP	1	ud	9.643,70 €	9.643,70 €
Dipòsit 2000L gasoil	1	ud	2.000,00 €	2.000,00 €
Material elèctric				
Material elèctric CC				
Concepte	Unitats		P.V.P Unitari	P.V.P Total
Cable Powerflex RV-K 0,6/1kV 1x4mm2	250	m	0,84 €	210,05 €
Cable Powerflex RV-K 0,6/1kV 1x6mm2	1000	m	1,20 €	1.195,66 €
Cable Toxfree ZH RZ1-K 0,6/1kV (AS) 1x4mm2	25	m	1,46 €	36,62 €
Fusibles 10 A 1000Vcc 10x38 gPV/PV	12	ud	1,91 €	22,92 €
Portafusibles 10 A 1000Vcc 10x38 gPV/PV	12	ud	6,81 €	81,72 €
Rejiband 60x100	312	m	12,38 €	3.861,56 €
Rejiband 60x200	25	m	20,76 €	519,04 €
Tub UNE-EN 61386-24:2011	50	m	0,67 €	33,30 €
Material elèctric Bateries				
Concepte	Unitats		P.V.P Unitari	P.V.P Total
Cable Toxfree ZH RZ1-K 0,6/1kV (AS) 1x240mm2	100	m	40,00 €	4.000,00 €
Fusibles NH2 200 A 500 Vcc	8	ud	9,98 €	79,84 €
Portafusibles NH2 200 A 500 Vcc	1	ud	80,00 €	80,00 €
Fusibles NH2 125 A 500 Vcc	12	ud	12,98 €	155,76 €
Portafusibles NH2 125 A 500 Vcc	1	ud	80,00 €	80,00 €
Material elèctric CA				
Concepte	Unitats		P.V.P Unitari	P.V.P Total
Cable Toxfree ZH RZ1-K 0,6/1kV (AS) 2x16mm2	75	m	6,94 €	520,61 €
Cable Toxfree ZH RZ1-K 0,6/1kV (AS) 4x25mm2	15	m	19,70 €	295,55 €
Cable Toxfree ZH RZ1-K 0,6/1kV (AS) 4x35mm2	40	m	27,18 €	1.087,15 €
Cable Toxfree ZH RZ1-K 0,6/1kV (AS) 4x50mm2	10	m	38,05 €	380,45 €

Interruptor magnetotèrmic 25A 500Vac 15kVA	2	ud	250,00 €	500,00 €
Interruptor magnetotèrmic 50A 500Vac 25kVA	2	ud	274,00 €	548,00 €
Quadre elèctric pragma 13 1 fila	1	ud	19,90 €	19,90 €
Bypass d'emergència	1	ud	987,00 €	987,00 €
Altres materials elèctrics				
Concepte	Unitats		P.V.P Unitari	P.V.P Total
Rejiband 60x200 interior sala bateries i inversors	47	m	20,76 €	975,79 €
Caixes PVC 1000x700	3	ud	50,00 €	150,00 €
Altres materials elèctrics	1	ud	500,00 €	500,00 €
Material instal·lació posada a terra	1	ud	2.187,31 €	2.187,31 €
Mà d'obra necessària				
Concepte	Unitats		P.V.P Unitari	P.V.P Total
Muntatge estructura mòduls	1	ud	1.671,19 €	1.671,19 €
Muntatge panells fotovoltaics	1	ud	1.143,44 €	1.143,44 €
Muntatge bateries	1	ud	700,00 €	700,00 €
Muntatge instal·lació elèctrica sistema bateries i inversors	1	ud	1.683,31 €	1.683,13 €
Muntatge instal·lació subterrània cablejat panells	1	ud	2.493,00 €	2.493,00 €
Equipament seguretat en obra	1	ud	1.990,14 €	1.990,14 €
Direcció d'obra i posta en marxa	1	ud	6.288,34 €	6.288,34 €
			TOTAL sense IVA	123.299,02 €
			21% IVA	25.892,79 €
			TOTAL amb IVA	149.191,81 €

4.3.1. Manteniment de la instal·lació

4.3.1.1. Manteniment tècnic

Un cop explicada la instal·lació prevista és important descriure els diferents processos de manteniment periòdic als quals aquesta haurà de fer front. Aquest manteniment es pot dividir en dos blocs:

4.3.1.1.1 Manteniment anual

La instal·lació fotovoltaica i els seus components no requereixen un manteniment molt exigent. No obstant, és recomanable dedicar un temps a les següents tasques:

- Neteja del mòduls fotovoltaics per evitar les pèrdues de potència per brutícia.
- Verificació del correcte funcionament dels elements estructurals i subjecció de mòduls, així com dels elements constructius.

- Revisió del correcte funcionament dels inversors de xarxa, inversors carregadors i la resta d'aparells electrònics.
- Revisió dels elements elèctrics de la instal·lació i dels conductors.
- Revisió dels diversos elements de protecció i seguretat del sistema.

Per altra banda, les tasques de manteniment del grup electrogen són:

- Revisió del nivell de l'oli i canvi d'aquest i del filtre en cas que sigui necessari.
- Comprovació del correcte funcionament del filtre de l'aire i substitució d'aquest en cas necessari.
- Revisió de l'estat de les corretges.
- Verificació del correcte funcionament del sistema de refrigeració.
- Comprovació de l'estat del filtre de combustible i canvi en cas necessari.
- Revisió dels diversos elements de l'alternador.

4.3.1.1.2 Reposició de components

- Reposició de les bateries cada 10 anys, ja que es produeix l'esgotament dels cicles de vida esperats a una profunditat de càrrega d'un 50%. La Taula 41 mostra la justificació de la duració del conjunt de bateries.

Taula 41.- Càlcul duració aproximada conjunt de bateries.

Profunditat de descàrrega	50%
Nombre de cicles esperat a 50% de profunditat	3000
Nombre de cicles complets anuals	300
Duració conjunt de bateries	10 anys

- El mòduls fotovoltaics tenen una garantia de vida útil de 25 amb un correcte funcionament, tal com indica la fitxa tècnica del mòdul Atersa A-270-P.

4.3.1.2. Manteniment econòmic

El manteniment econòmic de la instal·lació consta de dos blocs:

- Costos econòmics derivats del manteniment tècnic descrit en l'apartat anterior
4.3.1.1 *Manteniment tècnic.*

- Costos del gasoil consumit pel grup electrogen. El gasoil utilitzat per la instal·lació és gasoil B o agrícola, ja que la instal·lació està situada en una explotació porcina. D'aquesta manera, ja que en la fitxa tècnica del grup electrogen s'especifica la quantitat de gasoil que consumeix per cada tram percentual de potència, i observant el ritme de possible funcionament d'aquest en els mesos d'alt consum, s'ha obtingut el consum de gasoil en litres per cada unitat d'energia. El preu utilitzat per calcular el cost de gasoil ha estat el que ofereix l'entitat CAGSA [21].

Taula 42.- Càlcul de litres i hores consumits pel grup electrogen anualment.

	Consum grup electrogen (kWh/dia)	Potència mitjana (kW)	Potència màxima (kW)	%Potència utilitzada mitjana (funcionant 24h/dia)	%Potència utilitzada hora punta (funcionant 24h/dia)	Hores a 50% diàries	Hores a 50% mensuals	Litres diaris	Litres mensuals
Gener	35,71	1,49	2,07	7%	10%	3,50	108,53	11,20	347,30
Febrer	0	0,00	0,00	0%	0%	0,00	0,00	0,00	0,00
Març	0	0,00	0,00	0%	0%	0,00	0,00	0,00	0,00
Abril	38,09	1,59	2,19	8%	11%	3,73	112,03	11,95	358,49
Maig	74,68	3,11	4,30	15%	21%	7,32	226,97	23,43	726,30
Juny	278,49	11,61	16,46	57%	81%	-	-	85,44	2563,20
Juliol	164,72	6,86	9,71	34%	48%	16,15	500,62	51,68	1601,98
Agost	40,79	1,70	2,41	8%	12%	4,00	123,97	12,80	396,70
Setembre	21,37	0,89	1,23	4%	6%	2,10	62,85	6,70	201,13
Octubre	0	0,00	0,00	0%	0%	0,00	0,00	0,00	0,00
Novembre	0	0,00	0,00	0%	0%	0,00	0,00	0,00	0,00
Desembre	116,47	4,85	6,76	24%	33%	11,41863	353,98	36,54	1132,73
							2208,95		7327,83

Taula 43.- Justificació del cost de la producció d'energia mitjançant el grup electrogen.

Consum ponderat en L/h	3,317341
Consum ponderat en L/kWh	0,311267
Consum grup electrogen anual (kWh)	23541,97
Preu dièsel B (€/L)	0,677
Cost producció energia grup anual (€)	4960,94

5. Viabilitat econòmica del projecte

Tal com es mostra en la Taula 2 de l'apartat 3.1 *Opcions d'instal·lació*, es procedeix a calcular econòmicament els diferents casos que d'aquesta sorgeixen.

Per realitzar l'anàlisi s'ha tingut en compte el pressupost adaptat a cada alternativa, la variació de l'índex de preus al consum d'electricitat i combustibles [22] (Taula 44), el preu mitjà de diverses empreses dedicades a la distribució d'electricitat [19][20] i el preu de gasoil B. Per calcular la rendibilitat de la inversió s'ha usat un interès del 10%. La Taula 45 mostra els valors actualitzats nets (VAN) de cada inversió i els períodes de retorn. El nombre que inclou l'abreviatura del cas en el cas de contenir bateries, significa el nombre d'aquestes que s'inclouen en la instal·lació. La D al final de l'abreviatura significa "desconnexió de la xarxa elèctrica", fet que, en un cas hipotètic en que encara no s'hagués començat l'activitat en l'explotació, permetria un estalvi d'uns 100.000€ degut a la construcció i transport de la línia a l'emplaçament.

Taula 44.- Incrementos anuals de preu de combustibles i electricitat.

IPC Combustibles	3,8%
IPC Electricitat	2,6%

Taula 45.- Càlcul de rendibilitat i període de retorn de diverses configuracions energètiques. (0: No existeix, 1: Existeix). En el cas del grup electrogen, un 0 significa la no adquisició d'un segon grup mentre que un 1, sí.

Abreviatura del cas	Connexió Xarxa	Grup electrogen	Bateries	Plaques	VAN ₂₀	Període de retorn (anys)
X0G0B1PV1-24	0	0	1	1	-40583,83	31
X0G0B1PV1-48	0	0	1	1	-81701,11	37
X0G0B1PV1-24-D	0	0	1	1	59416,17	4
X0G0B1PV1-48-D	0	0	1	1	18298,89	13
X0G1B0PV0	0	1	0	0	-207940,68	Infinit
X0G1B0PV0-D	0	1	0	0	-107941,68	Infinit
X0G1B0PV1	0	1	0	1	-98322,47	Infinit
X0G1B0PV1-D	0	1	0	1	1677,53	Infinit
X0G1B1PV1-24	0	1	1	1	-58751,63	35
X0G1B1PV1-48	0	1	1	1	-93369,99	44
X0G1B1PV1-24-D	0	1	1	1	41248,37	7
X0G1B1PV1-48-D	0	1	1	1	6630,01	15
X1G0B0PV1	1	0	0	1	21810,69	17
X1G0B1PV1-24	1	0	1	1	7951,59	18
X1G0B1PV1-48	1	0	1	1	-36246,3	24
X1G1B0PV1	1	1	0	1	7721,82	19
X1G1B1PV1-24	1	1	1	1	-6137,29	19 (21)
X1G1B1PV1-48	1	1	1	1	-50335,18	25

5.1. Comparació casos d'aïllament de la xarxa

Tal i com es pot apreciar en la Taula 45, no existeix cap cas on la desconexió de la xarxa elèctrica un cop ja havia estat instal·lada sigui viable en un plaç inferior a 30 anys i s'utilitzi una instal·lació fotovoltaica. La Figura 21 mostra que ni la instal·lació d'un grup electrogen ni la combinació d'aquest amb mòduls fotovoltaics sense bateries per aïllar l'explotació no són rendibles perquè incrementen els costos econòmics, tant en curt com a llarg termini. Únicament s'hauria d'invertir en un projecte aïllat amb grup electrogen si la instal·lació fos molt llunyana a qualsevol línia (molta inversió), si el període de funcionament de l'explotació fos molt curt (inferior a 12 anys) o si es tingués ferma evidència que el preu de l'electricitat augmentés desmesuradament.

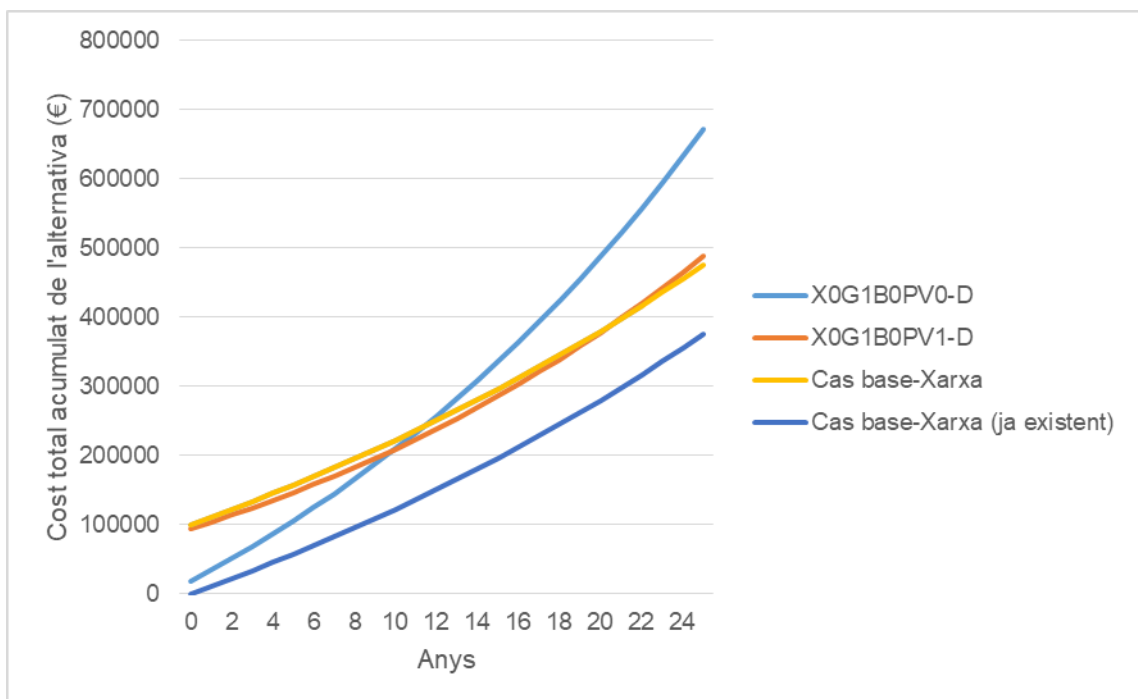


Figura 21.- Comparació costos econòmics casos connexió a la xarxa i desconexió amb grup electrogen.

Per tant, per tal que l'aïllament sigui rendible cal fer-lo des de l'inici de l'activitat de l'explotació. La Figura 22 mostra una comparació entre aquestes possibles alternatives.

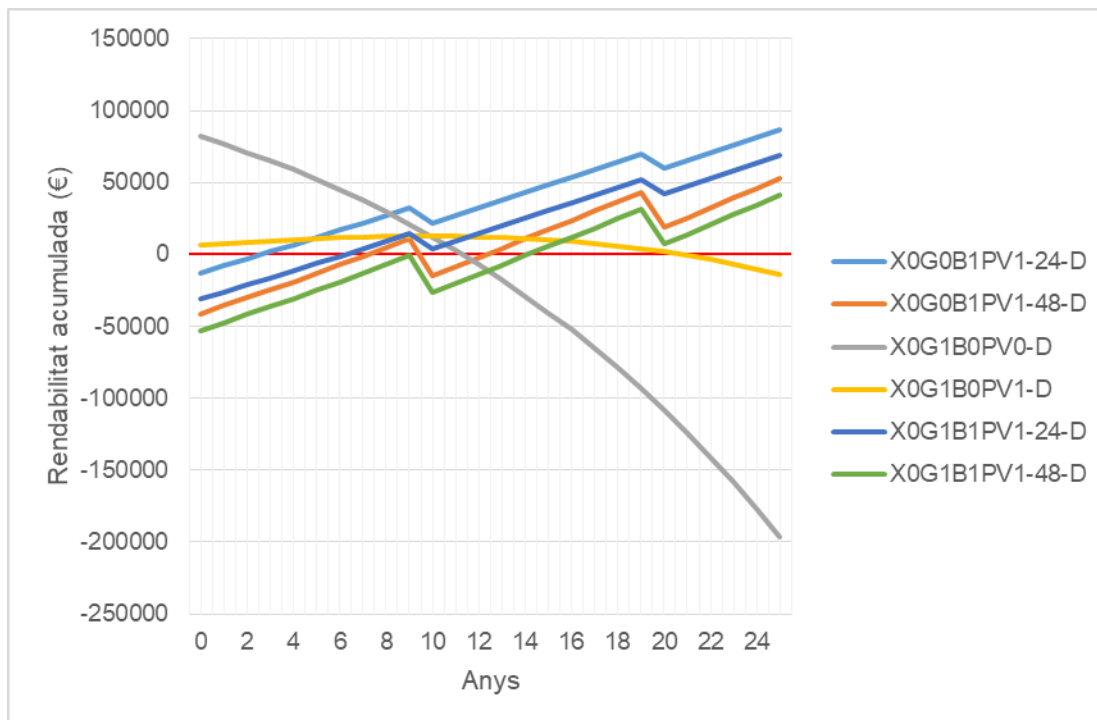


Figura 22.- Comparació de rendibilitat dels casos de desconexió de la xarxa.

La Figura 22 evidencia la no viabilitat de les opcions de grup electrogen sense bateries i mòduls fotovoltaics. Per altra banda, les opcions d'instal·lació de grup electrogen, bateries i plaques fotovoltaïques conjuntament sí que són atractives, perquè, a la llarga, garanteixen un menor cost que la connexió a la xarxa. Com és normal, sent les que més inversió requereixen les que major període de retorn i respecte mediambiental presenten.

5.2. Comparació casos connexió a xarxa

Per altra banda, quan s'opta per mantenir la connexió a la xarxa i ajudar-se de la producció d'energia mitjançant plaques fotovoltaïques, la comparació gràfica resultant és la que es mostra a la Figura 23.

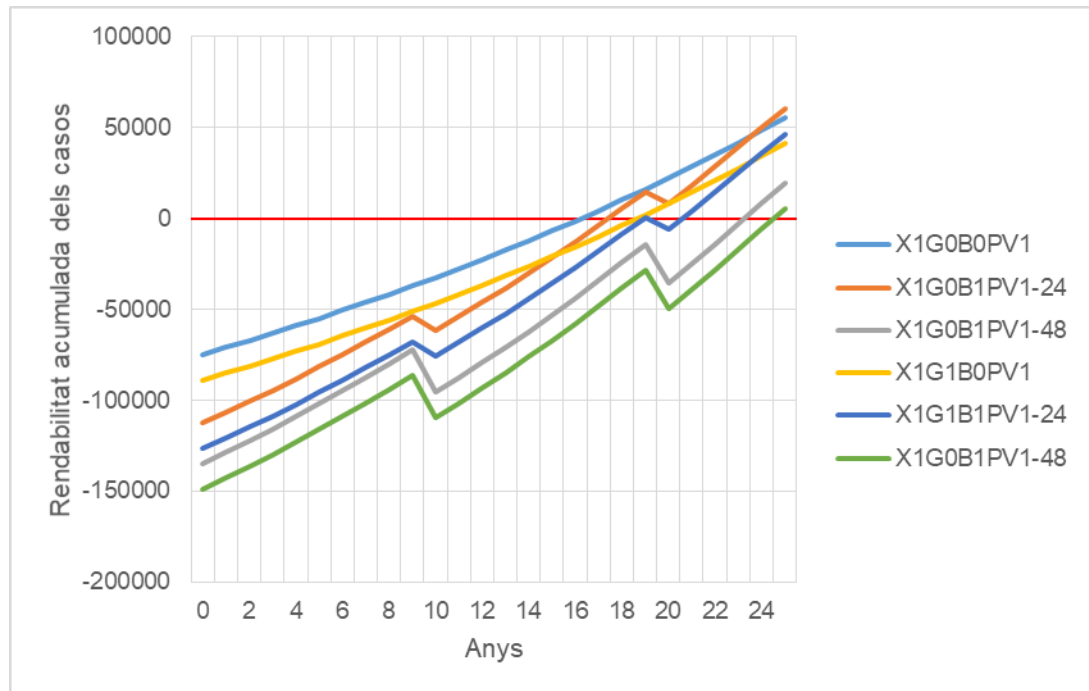


Figura 23.- Comparació de rendibilitat dels casos amb connexió a la xarxa.

La Figura 23 mostra que, a la llarga, totes les opcions que mantenen la connexió a la xarxa elèctrica acaben sent viables, essent les que major inversió requereixen les de major període de retorn, però també les que més energia solar produeixen. Dins d'aquestes opcions, és destacable que, malgrat presentar un VAN diferent, la proposta sense bateries i la proposta amb 24 bateries tenen un període de retorn similar. És a dir, s'aconseguiria pagar la inversió de les dues opcions pràcticament en el mateix període de temps.

5.3. Comparació millors opcions

Finalment, s'opta per comparar les millors alternatives en dos contextos diferents. En la Figura 24 es parteix de la situació inicial real, és a dir, que ja existeix una connexió a la xarxa prèvia i que, en conseqüència, no és necessària una inversió per muntar una estació transformadora per subministrament elèctric. Mentre que la Figura 25 mostra com seria la situació si la granja fos de nova construcció i no tingués contacte amb la línia.

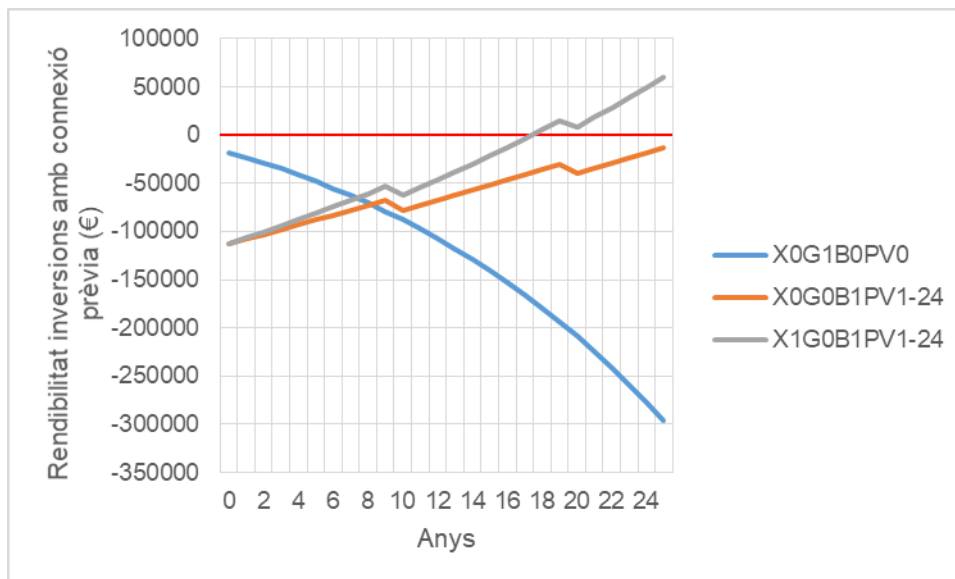


Figura 24.- Comparació rendibilitat millors alternatives amb connexió a xarxa prèvia.

En la Figura 24 s'observa que, partint de la situació inicial, en l'hipotètic cas de voler realitzar una inversió per estalviar costos i ser més respectuós mediambientalment, la millor solució és realitzar una inversió important amb un marge de retorn de 17 anys, mantenint la connexió a la xarxa elèctrica.

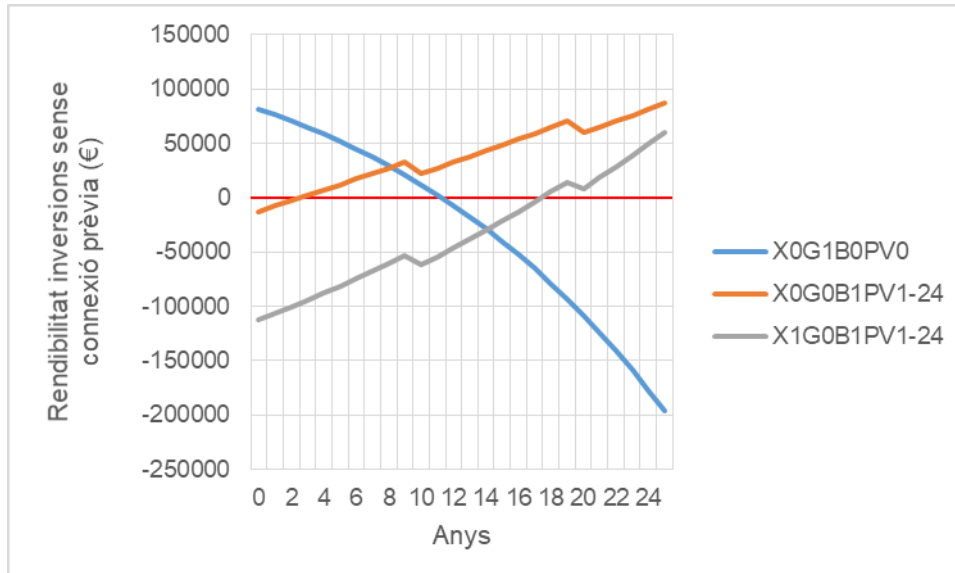


Figura 25.- Comparació rendibilitat millors alternatives sense connexió a xarxa prèvia.

En canvi, si es parteix del cas de granja de nova construcció, tal com mostra la Figura 25, existeixen dues possibilitats. Una és una instal·lació amb grup electrogen, bateries i mòduls fotovoltaics, la qual garanteix una bona rendibilitat amb molt poc risc, ja que el marge de

retorn és de 4 anys. Mentre que l'altra, mitjançant la connexió a xarxa, bateries i mòduls fotovoltaics, presenta uns beneficis superiors a llarg termini, però representa una incertesa major, amb un major període de retorn.

La Taula 46 mostra, a nivell d'exemple, com s'ha realitzat l'anàlisi dels casos comparats anteriorment. En els casos on en la solució hi havia consum d'energia elèctrica es canviaven els camps cost gasoil i cost manteniment del grup per cost de l'energia i potència elèctrica.

Taula 46.- Exemple d'anàlisi de viabilitat del cas X0G0B1PV1-24.

Any	Manteniment situació inicial - connexió xarxa				Nova situació - X0G0B1PV1-24					Rendibilitat	
	Cost instal·lació línia	Cost energia elèctrica	Cost potència elèctrica	Cost total acumulat	Cost instal·lació	Cost gasoil	Cost manteniment grup	Reposició bateries	Cost total acumulat X0G0B1PV1-24	Rendibilitat anual	Rendibilitat acumulada
0	100.000,00 €	--	--	100.000,00 €	112.611,01 €	--	--	--	112.611,01 €	-12.611,01 €	- 12.611,01 €
1	--	9.178,00 €	1.671,36 €	110.849,36 €	--	5.636,99 €	400,00 €	--	118.648,00 €	4.812,37 €	- 7.798,64 €
2	--	9.416,63 €	1.714,82 €	121.980,80 €	--	5.851,20 €	415,20 €	--	124.914,40 €	4.865,05 €	- 2.933,59 €
3	--	9.661,46 €	1.759,40 €	133.401,66 €	--	6.073,54 €	430,98 €	--	131.418,91 €	4.916,34 €	1.982,75 €
4	--	9.912,66 €	1.805,14 €	145.119,47 €	--	6.304,34 €	447,35 €	--	138.170,60 €	4.966,11 €	6.948,86 €
5	--	10.170,39 €	1.852,08 €	157.141,93 €	--	6.543,90 €	464,35 €	--	145.178,86 €	5.014,21 €	11.963,07 €
6	--	10.434,82 €	1.900,23 €	169.476,98 €	--	6.792,57 €	482,00 €	--	152.453,43 €	5.060,48 €	17.023,56 €
7	--	10.706,12 €	1.949,64 €	182.132,75 €	--	7.050,69 €	500,32 €	--	160.004,43 €	5.104,76 €	22.128,32 €
8	--	10.984,48 €	2.000,33 €	195.117,56 €	--	7.318,61 €	519,33 €	--	167.842,37 €	5.146,87 €	27.275,19 €
9	--	11.270,08 €	2.052,34 €	208.439,97 €	--	7.596,72 €	539,06 €	--	175.978,15 €	5.186,63 €	32.461,82 €
10	--	11.563,10 €	2.105,70 €	222.108,77 €	--	7.885,39 €	559,55 €	15.673,44 €	200.096,53 €	-10.449,58 €	22.012,24 €
11	--	11.863,74 €	2.160,45 €	236.132,96 €	--	8.185,04 €	580,81 €	--	208.862,38 €	5.258,34 €	27.270,58 €
12	--	12.172,20 €	2.216,62 €	250.521,78 €	--	8.496,07 €	602,88 €	--	217.961,33 €	5.289,87 €	32.560,44 €
13	--	12.488,68 €	2.274,25 €	265.284,70 €	--	8.818,92 €	625,79 €	--	227.406,04 €	5.318,21 €	37.878,66 €
14	--	12.813,38 €	2.333,38 €	280.431,47 €	--	9.154,04 €	649,57 €	--	237.209,65 €	5.343,15 €	43.221,81 €
15	--	13.146,53 €	2.394,05 €	295.972,04 €	--	9.501,89 €	674,25 €	--	247.385,80 €	5.364,43 €	48.586,24 €
16	--	13.488,34 €	2.456,29 €	311.916,68 €	--	9.862,97 €	699,87 €	--	257.948,64 €	5.381,79 €	53.968,03 €
17	--	13.839,04 €	2.520,16 €	328.275,87 €	--	10.237,76 €	726,47 €	--	268.912,87 €	5.394,96 €	59.363,00 €
18	--	14.198,85 €	2.585,68 €	345.060,40 €	--	10.626,79 €	754,08 €	--	280.293,74 €	5.403,66 €	64.766,66 €
19	--	14.568,02 €	2.652,91 €	362.281,33 €	--	11.030,61 €	782,73 €	--	292.107,09 €	5.407,59 €	70.174,25 €
20	--	14.946,79 €	2.721,89 €	379.950,01 €	--	11.449,78 €	812,47 €	15.673,44 €	320.042,78 €	-10.267,02 €	59.907,23 €
21	--	15.335,41 €	2.792,65 €	398.078,07 €	--	11.884,87 €	843,35 €	--	332.770,99 €	5.399,84 €	65.307,08 €
22	--	15.734,13 €	2.865,26 €	416.677,46 €	--	12.336,49 €	875,40 €	--	345.982,88 €	5.387,50 €	70.694,58 €
23	--	16.143,21 €	2.939,76 €	435.760,43 €	--	12.805,28 €	908,66 €	--	359.696,82 €	5.369,03 €	76.063,61 €
24	--	16.562,94 €	3.016,19 €	455.339,56 €	--	13.291,88 €	943,19 €	--	373.931,89 €	5.344,06 €	81.407,67 €
25	--	16.993,57 €	3.094,62 €	475.427,75 €	--	13.796,97 €	979,03 €	--	388.707,89 €	5.312,19 €	86.719,86 €

Conclusions

Un cop conclòs aquest treball, és necessari i oportú fer una valoració de la feina feta, com s'ha dut a terme i els resultats que se n'han extret.

Pel que fa al projecte tècnic, el resultat ha estat força satisfactori, ja que s'han pogut complir la totalitat dels objectius amb un grau de compliment notable. En primer lloc, s'ha ideat una solució capaç de mantenir un subministrament d'energia elèctrica constant, preveient una cobertura davant possibles imprevistos i que pràcticament, ni en el moment de la instal·lació ni a llarg termini, causa molèsties en l'activitat de l'explotació porcina. La utilització d'una font d'energia renovable s'ha fet palesa amb els panells fotovoltaics, els quals permeten una generació neta de gasos d'efecte hivernacle i, tot i que amb cert marge de retorn, inversions rendibles.

Per altra banda, pel que fa a les conclusions personals, realitzar aquest projecte ha estat una bona manera d'introduir-se en el món de l'enginyeria elèctrica, tant a nivell dels càlculs realitzats per escollir nombres o mides de dispositius com a nivell de legislació. Ha estat una bona manera d'analitzar dades i opcions, buscar empreses i professionals del sector, aprendre a plantejar solucions i adquirir experiència. A més, dur a terme un treball en línia amb els valors personals i concloure que té viabilitat és esperançador per arribar a aconseguir un món més sostenible i és motivador per ampliar els coneixements sobre el tema.

Agraïments

Per tal de dur a terme aquest treball, és important fer esment d'algunes persones i entitats que hi han donat suport i sense les quals hagués estat impossible realitzar-lo:

- Josep Pujol i Puyané, per la prestació de les seves instal·lacions per realitzar hipotèticament el projecte d'aquest treball, així com la facilitació d'informació i l'accés a les instal·lacions de l'explotació ramadera.
- Gascan Solar Tècnics SL, empresa dedicada al camp de les energies renovables, igualment que al càlcul i muntatge d'instal·lacions fotovoltaiques i solars tèrmiques. La facilitació de dades comercials i de consum d'altres instal·lacions han estat de gran ajuda pel desenvolupament del projecte.
- Ramon May i Calvet, enginyer tècnic industrial dedicat a la realització de projectes d'instal·lacions elèctriques, el qual ha proporcionat la documentació legal necessària i ha donat consell i ajuda en els moments de necessitat.
- Família, amics i persones properes per prestar el caliu i clima idoni per la redacció del projecte.
- Oriol Gomis i Bellmunt, professor del departament d'Enginyeria Elèctrica de l'ETSEIB i director d'aquest treball, el qual va accedir a la realització d'aquest treball, n'ha dut a terme el seguiment i ha donat consell i ajuda en els moments de necessitat.

Bibliografia

Referències bibliogràfiques

- [1] GENERALITAT DE CATALUNYA. DEPARTAMENT D'AGRICULTURA, RAMADERIA, PESCA I ALIMENTACIÓ. Visors dels SIGPAC. Data d'actualització: 24/01/2018. Data de primera consulta: 15/10/2018. Disponible a: <http://agricultura.gencat.cat/ca/serveis/cartografia-sig/aplicatius-tematics-geoinformacio/sigpac/visor-sigpac/>
- [2] Europäische Kommission. Gemeinsame Forschungsstelle. (n.d.). *EU R et D scoreboard the ... EU industrial R et D investment scoreboard*. Publ. Off. of the Europ. Union.
- [3] Gracia, A. M., Huld, T., & European Commission. Joint Research Centre. Institute for Energy and Transport. (2013). *Performance comparison of different models for the estimation of global irradiance on inclined surfaces : validation of the model implemented in PVGIS*. Publications Office.
- [4] Ortofoto convencional. Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. (n.d.). Data de primera consulta: 15/10/2018. Disponible a: <http://www.icgc.cat/Administracio-i-empresa/Descarregues/Imatges-aeries-i-de-satel-lit/Ortofoto-convencional>
- [5] Línea ULTRA - Módulos Fotovoltaicos - Productos y Servicios - Atersa. (2017). Data de primera consulta: 02/11/2018. Disponible a: <http://www.atersa.com/es/productos-servicios/modulos-fotovoltaicos/linea-ultra/>
- [6] Fronius International GmbH. (2019). Fronius Symo 3.0-3-M. Data de primera consulta: 03/11/2018. Disponible a: <https://www.fronius.com/es-es/spain/energia-solar/productos/todos-los-productos/inversor/fronius-symo/fronius-symo-3-0-3-m>
- [7] Victron Energy. (2019). Productos Victron Energy. Data de primera consulta: 03/11/2018. Disponible a: <https://www.victronenergy.com.es/>
- [8] Alusín Solar. (2018). Sistema Gulpiyuri - Alusín Solar. Data de primera consulta: 10/11/2018. Disponible a: <http://www.alusinsolar.com/es/productos/estructuras-para-cubierta/sistema-gulpiyuri>
- [9] Top Cable. (2018). Cables de baja tensión | Top Cable. Data de primera consulta: 20/11/2018. Disponible a: from <https://www.topcable.com/es/cables-de-baja-tension/>
- [10] Pensa. (2018). Pensa Cable Management Systems. Data de primera consulta: 15/12/2018. Disponible a: <https://www.pensa-rejiband.com/>
- [11] Owasys. (2018). Owasys | Advanced Wireless Devices. Data de primera consulta: 10/12/2018. Disponible a: <http://www.owasys.com/es>
- [12] Ministerio de Ciencia y Tecnología. Gobierno de España (2002). *ITC-BT-18: Instalaciones de puesta a tierra*. Disponible a: http://www.f2i2.net/documentos/lsi/rbt/ITC_BT_18.pdf

- [13] Ministerio de Ciencia y Tecnología. Gobierno de España (2002). *ITC-BT-22: Instalaciones Interiores o Receptoras. Protección contra sobreesfuerzos*. Disponible a: http://www.f2i2.net/documentos/lsi/rbt/ITC_BT_22.pdf
- [14] Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Gobierno de España (2014). *Real Decreto 413/2014* (BOE-A-2014-6123). Disponible a: <https://www.boe.es/boe/dias/2014/06/10/pdfs/BOE-A-2014-6123.pdf>
- [15] Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Gobierno de España (2015). *Real Decreto 900/2015* (BOE-A-2015-10927). Disponible a: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2015/10/09/900/con>
- [16] Asociación Española de Normalización. AENOR (2011). *UNE-EN 61386-24:2011. Sistemas de tubos para la conducción de cables. Parte 24: Requisitos particulares. Sistemas de tubos enterrados bajo tierra*. Disponible a: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0047448>
- [17] Asociación Española de Normalización. AENOR (2011). *UNE-HD 60364-5-52:2014. Instalaciones eléctricas de baja tensión. Parte 5-52: Selección e instalación de equipos eléctricos. Canalizaciones*. Disponible a: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0054027>
- [18] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (2019). Inicio | IDAE. Data de primera consulta 17/11/2018. Disponible a: <http://www.idae.es/>
- [19] Precio por potencia contratada | CHC Energía. (2019). Data de primera consulta: 04/01/2019. Disponible a: <https://www.chcenergia.es/es/ofertas-y-tarifas-electricas/precios-potencia-contratada/>
- [20] Tarifas 3.0A: Potencia, Precios y Condiciones. (2019). Data de primera consulta: 04/01/2019. Disponible a: <https://comparadorluz.com/tarifas/acceso/30a>
- [21] Corporació Alimentària Guissona SA. (2019). Preus gasoil a domicili. Data de primera consulta: 12/01/2019. Disponible a: <https://carburants.bonareaenergia.com/Bonarea/PreusGasoil?idioma=catala>
- [22] Instituto Nacional de Estadística. (2018). *Nivel y condiciones de vida (IPC) / Índices de precios de consumo y vivienda*. Data de primera consulta: 04/01/2019. Disponible a: http://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/categoria.htm?c=Estadistica_P&cid=1254735976607

Bibliografia complementària

F. Holmgren, W., W. Hansen, C., & A. Mikofski, M. (2018). pvlib python: a python package for modeling solar energy systems. *Journal of Open Source Software*, 3(29), 884. <http://doi.org/10.21105/joss.00884>

Studer Innotec. (2019). Inversores / cargadores. Data de primera consulta: 03/11/2018. Disponible a: <http://www.studer-innotec.com/es/productos/inversores--cargadores/>